ЗНАНИЕ

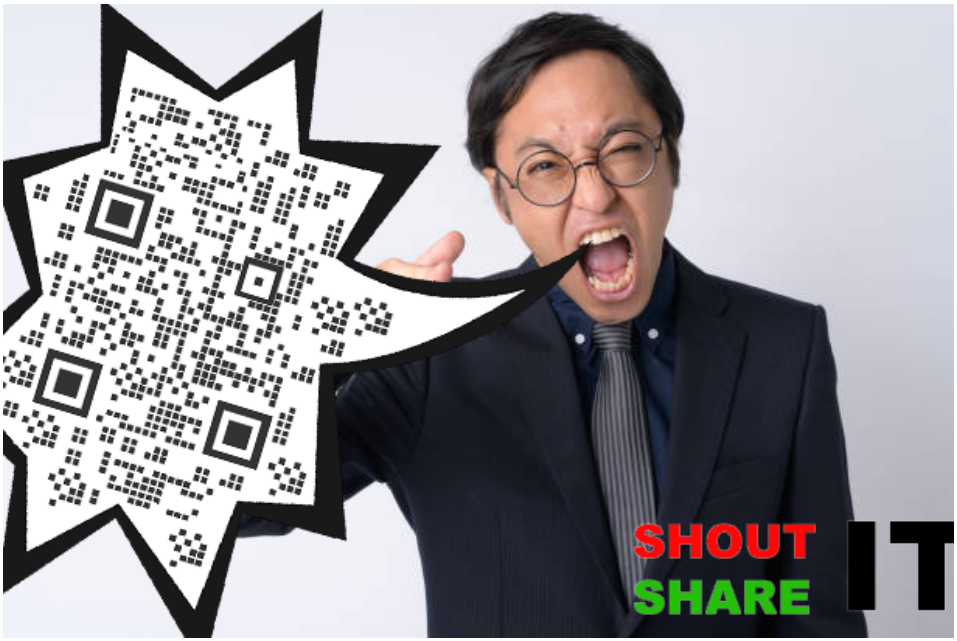
Новое в жизни, науке, технике

Подписная научно-популярная серия

«Знак вопроса»

3'89

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА — ЧТО ДАЛЬШЕ?


SHOUT
SHARE
IT

Annotation

События на «Три Майл Айленд» и особенно катастрофа в Чернобыле показали, что развитие атомной энергетики сопряжено с весьма существенными проблемами.

Каково теперь реальное место атомной энергетики в жизни людей? Каковы ее перспективы? Каковы экологические последствия радиоактивного загрязнения? На эти и другие вопросы отвечают авторы сборника «Атомная энергетика — что дальше?» чл-корр. АН СССР А. А. Саркисов, чл-корр. АН УССР Д. М. Гродзинский и кандидат экономических наук М. Э. Аджиев.

http://znak.traumlibrary.net

- Знак вопроса 1989 № 3
  - К читателю
  - Атомная энергетика — без эмоций!
  - Чернобыль: интервью на одну актуальную тему
  - Тяжелая вода! Почему бы и нет!

Знак вопроса 1989 № 3
Атомная энергетика — что дальше?

К читателю

Еще не так давно слова «атомная энергетика» и «научно-технический прогресс» сливались в неразрывное целое. И тому было немало причин. Молодая отрасль требовала прорыва в неведомое. Она стимулировала развитие целого ряда новых направлений в физике, химии, биологии. Больше того, открывалась очень радужная перспектива решения энергетических проблем, в первую очередь замены традиционных видов топлива принципиально иным — компактным, «бездымным» и, что особенно важно, практически неисчерпаемым. Именно поэтому атомная энергетика сразу получила приоритетное развитие во многих промышленно развитых странах.

Однако со временем ситуация стала меняться. Перспективы потеряли свой первоначальный блеск: тень непредвиденных проблем наползала на них. События на «Три Майл Айленд» и особенно наш Чернобыль всколыхнули общественное мнение всего мира. И специалисты вынуждены были пересмотреть некоторые принципиальные позиции, еще недавно казавшиеся незыблемыми.

Каково же теперь реальное место атомной энергетики в жизни общества? Каковы ее перспективы? Об этом рассказывает член-корреспондент АН СССР А. А. Саркисов.

Сегодня разговор о проблемах атомной энергетики будет явно неполным, если не исследовать экологические последствия радиоактивного загрязнения. Данной теме посвящена беседа члена-корреспондента АН УССР Д. М. Гродзинского.

Благодаря рассказу этих специалистов можно видеть, что и ныне атомная энергетика продолжает оставаться движителем научно-технического прогресса, однако акценты уже иные. Общество интересуют последствия широкого строительства АЭС, их влияние на природу, человека. Дан стимул новым исследованиям в радиационной экологии, математическом моделировании и, что может показаться неожиданным, в таких далеких от проблем атомной энергетики науках, как гидрология, гляциология, география. В очерке М. Э. Аджиева выдвинута интересная гипотеза о природных месторождениях тяжелой воды, которая широко используется в атомной энергетике в качестве замедлителя нейтронов.

Предлагаемая читателю гипотеза М. Аджиева не лишена оснований. По крайней мере она не противоречит основным положениям современной физики.

Классическая наука, как известно, развивается по схеме наблюдение — теория — практика. Возможны изменения в последовательности, но это — три основных отличия точной науки. Пока автор находится на первом этапе: он продемонстрировал умение наблюдать природу. Смог увидеть явление, суть которого еще не объяснена.

Удачное наблюдение повлекло за собой попытку осмыслить увиденную природную аномалию, дать ей научное объяснение. Так появилась гипотеза.

Пока это всего лишь гипотеза. Но она может стать основой для научной теории, если появится ее экспериментальное подтверждение.

Гипотеза М. Аджиева не бесспорна. Автор, возможно, и упускает из вида какое-то естественное обстоятельство. Не исключено и другое — тяжелая вода здесь вообще ни при чем… Но тем не менее желание автора понять и объяснить известный еще с 1902 года факт проявления ледообразования в водоеме, имеющем положительную температуру, заслуживает того, чтобы гипотеза М. Аджиева была опубликована.

Проблемы атомной энергетики, разумеется, не исчерпываются допросами, затронутыми в настоящем выпуске. Редакция в будущем рассчитывает еще раз вернуться к этой теме.

Атомная энергетика — без эмоций!

На вопросы журналиста М. Курячей отвечает член корреспондент АН СССР А. А. Саркисов.

Ашот Аракелович, долгое время о научно-техническом прогрессе говорили, «не замечая» негативных явлений. Показательна ситуация с атомной энергетикой. Много лет обществу настойчиво внушалась мысль, что без нее дальнейшее развитие цивилизации невозможно. После чернобыльской аварии в общественном мнении наметился резкий крен в обратную сторону. С момента катастрофы прошло более двух лет. Видимо, сегодня уже можно трезво оценить место атомной энергетики в нашей жизни, ее перспективы? Хотелось бы получить объективную оценку этого направления научно-технического прогресса.

Всякие выводы и заключения, касающиеся перспектив того или иного направления научно-технического прогресса, должны опираться не столько на эмоции, сколько на строгий технико-экономический анализ. Однако сейчас и этого уже недостаточно. Чтобы формировать энергетическую политику, нужно учитывать еще и экологические, социальные факторы. Необходимо принимать в расчет даже нравственные соображения.

Подобные мысли в наши дни не выглядят неожиданными. Но к сожалению, сегодня еще нельзя утверждать, что все принципиальные вопросы решаются именно к таком ключе.

И тем не менее некая ревизия наших представлений о путях развития топливно-энергетического комплекса наблюдается. Насколько глубокой она будет, как сильно изменит она уже принятую нами стратегию, сказать пока трудно. Но то, что изменения неизбежны (они уже существуют), это сомнений не вызывает.

Сегодня около 15 процентов энергии, вырабатываемой на нашей планете, приходится на атомные электростанции. Но, как известно, средний показатель дает лишь общее представление о сложившейся в мире ситуации. Если же проанализировать положение в отдельных странах, возникнет картина весьма пестрая. Есть государства, в которых производство энергии на АЭС выражается очень значительными цифрами: например, во Франции оно достигает примерно 70% общей выработки. И никаких изменений в сторону уменьшения там не предвидится. Наоборот, население очень трезво оценивает вопросы, связанные с развитием атомной энергетики, справедливо рассматривая свои

АЭС как стимулятор хозяйственной жизни.

Но вместе с тем существуют государства, принявшие решение о полном прекращении строительства новых АЭС: Швеция, Италия.

Кто прав? Однозначного ответа, по-моему, здесь вообще нет. Показательна в этом отношении позиция США. Прекратив строительство новых АЭС, там широко развернули научно-исследовательские и конструкторские работы в области атомной энергетики.

Таким образом, создается хороший задел, чтобы в нужный момент активно приступить к развитию атомной энергетики на качественно ином уровне.

Если говорить о позиции США, надо вспомнить, наверно, и такой факт. В 1979 году на атомной электростанции «Три Майл Айленд» (Пенсильвания) произошли события, расцененные тогда специалистами как «наиболее серьезная авария, когда-либо имевшая место в ядерной энергетике». Но хотелось бы обратить внимание на то, что уже в 1978 году, то есть до аварии, в США не было сделано ни одного нового заказа на строительство АЭС. Всего же с 1972 по 1983 год было прекращено строительство или были ликвидированы заказы на сооружение новых АЭС общей мощностью 110 ГВт.

Действительно, в США еще до аварии в Пенсильвании выдвинутые гарантии безопасности подверглись серьезному обсуждению. Особую озабоченность вызывали системы аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ), поскольку на работающих легководных реакторах они ни разу не испытывались по полной схеме. Поведение таких систем в экстремальной ситуации описывалось на основе методов математического моделирования. А они были далеки от совершенства.

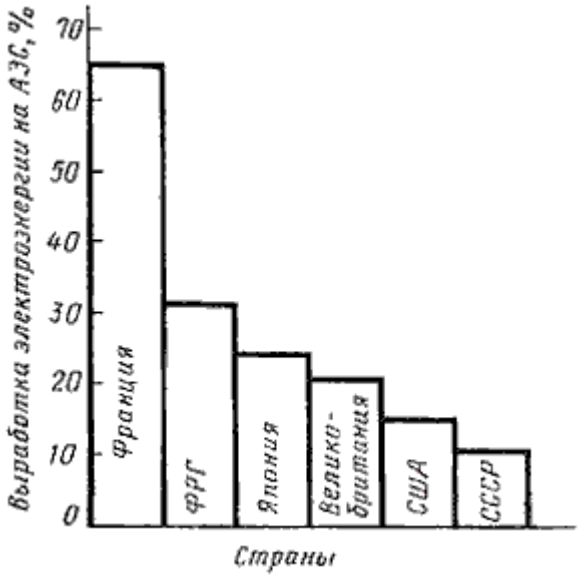


Рис. 1. Выработка электроэнергии на АЭС в разных странах в 1985 г.

Особенно обострились дебаты к началу 70-х годов Достаточно сказать, что Комиссия по атомной энергии США (АЕС) рассматривала эти вопросы с января 1972 по июль 1973 года, правда, с перерывами. И все же к моменту аварии на «Три Майл Айленд» испытания САОЗ по полной схеме так и не провели.

Согласен, отношение к атомной энергетике в мире начало меняться еще до крупных аварий. Пока она занимала скромное место в мировом топливно-энергетическом комплексе, целый ряд обстоятельств, связанных с ее развитием, оставался незамеченным или казался не столь существенным. Когда же вклад атомной энергетики стал довольно весомым, выявились некоторые особенности, заставляющие более трезво подойти к ее перспективам. Но и тогда выбранный путь в целом сомнений не вызывал.

Первый заметный спад темпов развития атомной энергетики был все-таки связан с аварией в Пенсильвании. Второй, затронувший уже энергетику всего мира, начался после трагедии в Чернобыле.

Иными словами, характерные для атомной энергетики проблемы безопасности обострились при расширении ее масштабов? Количество как бы перешло в качество?

Я бы сказал несколько иначе. Не будем забывать об

объективных причинах. В частности о том, что выбранный путь логически вытекал из той энергетической ситуации, которая сложилась в последние десятилетия: спад в угольной промышленности, нефтяной кризис, они как бы наслоились друг на друга. И потому потребовались качественно новые энергетические источники. Ими и стали атомные электростанции.

Путь, связанный с развитием атомной энергетики, поначалу выглядел вполне естественным и, пожалуй, неизбежным. Но здесь произошел своеобразный отрыв от тылов. Уже в 1975 году в мире действовало 130 атомных электростанций. Традиционным же электростанциям потребовалось примерно сто лет, чтобы выйти на подобный уровень инженерных решений и эксплуатационной надежности. Накопленный опыт эксплуатации АЭС оказался несоизмеримо мал с масштабами развития новой отрасли. Между тем вопросы безопасности требовали более тщательной проработки. В итоге…

Что произошло в Чернобыле? Цепь случайных событий? Не совсем… Почти невероятное наслоение неверных эксплуатационных решений, усугубленное некоторыми конструктивными недостатками, привело к разгону цепного процесса, расплавлению активной зоны и к взрыву. Об этом так много писалось, что нет смысла продолжать.

Ничего принципиально нового в наши знания авария на АЭС не внесла. С точки зрения физики и техники здесь все понятно. С точки зрения гражданина видимо, нет. И оправдывать случившееся безнравственно. На мой взгляд, это тот самый случай, когда неправильные решения в области техники приводят к огромным по масштабам нежелательным социальным последствиям.

Около 20 лет назад писатель Иван Ефремов заметил: «Физика, например, из самой передовой все больше превращается в консервативную и абстрактную дисциплину. Ее следуют и некоторые другие отрасли знания. Между тем религия в плане всего человечества отошла на задний план, а на ней прежде покоилась общественная мораль. Наука, заменившая религию, особенно в социалистических странах, уделила мало внимания разработке научно обоснованной системы морали и общественного поведения человека в обществе, отдавая почти все силы погоне за открытиями вообще. Но познание „вообще“ антигуманистично и аморально, поэтому все резче обозначается расхождение между насущными потребностями человека и ходом развития науки и техники». Согласны ли вы с этими словами?

Подобные мысли высказывал не только И. Ефремов… К сожалению, во многом они оказались верными. И потому сегодня на плечи ученых ложится все большая ответственность. Особенно на тех, кто занимается разработкой новых проектов в области атомной энергетики. Новые ошибки здесь недопустимы.

Однако подобные утверждения останутся пустым лозунгом, если они не будут подкреплены конкретными действиями. Я специализируюсь в области точных наук, а потому оцениваю ситуацию прежде всего с технических позиций.

Мы знаем, причиной возникновения аварии в Чернобыле были ошибки обслуживающего персонала. Однако целиком и полностью относить случившееся на счет преступно безграмотных действий было бы неправильно.

Разумеется, речь не о том, чтобы оправдать персонал АЭС. Вопрос стоит иначе. И я считаю его принципиальным. Атомная электростанция — слишком ответственный объект. А потому ни грубейшие ошибки оператора, ни наложение друг на друга различных неисправностей, пусть и самых маловероятных, ни даже умышленное извлечение органов управления из активной зоны, ни возникающие при этом аварийные ситуации не должны приводить к расплавлению активной зоны. «Запрет» на это необходимо заложить в физические, химические и конструктивные характеристики реактора.

Он должен быть сконструирован так, чтобы обладать «внутренней» безопасностью. Только тогда нам удастся избежать новых трагедий.

Конечно, промышленный выпуск подобного оборудования — дело непростое, дорогостоящее и требует немало времени. Но пути решения этой технической задачи достаточно ясны. И уже с 1995 года планируется оснащение всех строящихся АЭС реакторами нового поколения.

Но до 1995 года еще шесть лет. А какие меры по повышению безопасности приняты сегодня?

Программа действий, связанных с безопасностью атомной энергетики, намечена очень широкая. Многое из нее уже сделано.

Во-первых, по системе управления: здесь имелись особенности, которые при ошибках персонала могли «провоцировать» аварию. Теперь они устранены.

Во-вторых, по конструкции самого реактора — в нее тоже внесены изменения, заметно повышающие безопасность эксплуатации.

В-третьих, по средствам технической диагностики,

помогающим следить за состоянием металла в ответственных деталях: трубопроводах, корпусе и т. д. Сегодня идет довольно широкое внедрение их в практику. И изменения, чреватые аварийными последствиями, удается выявить на ранних стадиях развития.

Кроме того, разрабатываются автоматизированные системы контроля и анализа параметров АЭС. Такие системы выступят в роли экспертов-советчиков для обслуживающего персонала, помогая принять правильное решение в нестандартных ситуациях.

Наконец, многое делается для совершенствования систем локализации аварий. Прежде всего внимание уделяется пассивным системам охлаждения активной зоны. Есть ли энергоснабжение или нет, они, если нужно, вступают в работу автоматически и отводят тепло из активной зоны реактора.

В дополнение к этому улучшена подготовка обслуживающего персонала, создаются специальные тренажеры, начинает внедряться профессиональный отбор инженерно-технических работников для АЭС. Короче, приняты все меры, чтобы свести к минимуму вероятность возможных аварий.

Программа очень большая, требует значительных средств на свое осуществление и резко увеличивает стоимость АЭС. Но тенденция к удорожанию повсеместна, она наблюдается во всем мире.

Наверное, неправильно сводить проблему к безопасности только атомных электростанций. В противном случае «за кадром» остается слишком многое. Добыча урана, процессы обогащения, производство тепловыделяющих элементов, захоронение радиоактивных отходов — тоже элементы атомной энергетики. Об этих ее составляющих почти не говорят, но проблемы, связанные с ними, существуют. Как они решаются?

Давайте подробно рассмотрим какой-нибудь один вопрос, например, захоронение радиоактивных отходов. Насколько мне известно, эта проблема вызывает наиболее пристальный интерес.

Хочу внести ясность: отходы образуются не только на АЭС. Их дает вся атомная промышленность: и добыча, и переработка сырья, и изготовление рабочих каналов (тепловыделяющих элементов), и применение радиоактивных изотопов в медицине, биологии, промышленности.

Правда, у них есть одна особенность, которую можно расценивать как преимущество. В силу высокой концентрированности энергии в ядерном топливе, количество

образуемых отходов, по сравнению с другими отраслями, сравнительно невелико. Но все равно — грязь есть грязь, и проблем здесь довольно много.

Сама технология выделения отходов, их концентрирование, прессование, заключение в цементные, битумные или стеклянные блоки — это целая отрасль атомной промышленности.

Еще более сложной и дорогостоящей является технология сжигания, позволяющая уменьшить объем отходов в 20-100 раз. Отходящие дымовые газы очищаются методами адсорбции и фильтрации, а зола, загрязненная радионуклидами, подвергается цементированию, битумированию или остекловыванию.

Эти отрасли развиваются параллельно с ядерной энергетикой и забирают у нее значительную долю капитальных вложений. И чем дальше входим мы в атомный век, тем больше будет отходов.

Но главный вклад вносят, конечно, атомные электростанции. Особое место здесь занимают отработавшие рабочие каналы, которые содержат высокоактивные осколки деления, а также недовыгоревший уран и накопившийся плутоний. Они представляют собой наиболее активный тип отходов и наиболее специфичный. А потому требуют к себе особого отношения.

При современной ситуации на атомном рынке (уран сейчас стоит относительно дешево) извлекать полезные компоненты из отработавших рабочих каналов не имеет смысла. Это и очень сложно технически, и дорого, и опасно. А потому сегодня тепловыделяющие элементы подвергают захоронению, чаще всего прямо на территории АЭС. Хранят их в водной среде на достаточно большом удалении друг от друга. Таким образом, достигаются две цели. Во-первых, отводится тепло, выделяющееся при продолжающемся радиоактивном распаде остатков «горючего». Во-вторых, исключается возникновение критического ансамбля, способного привести к взрыву.

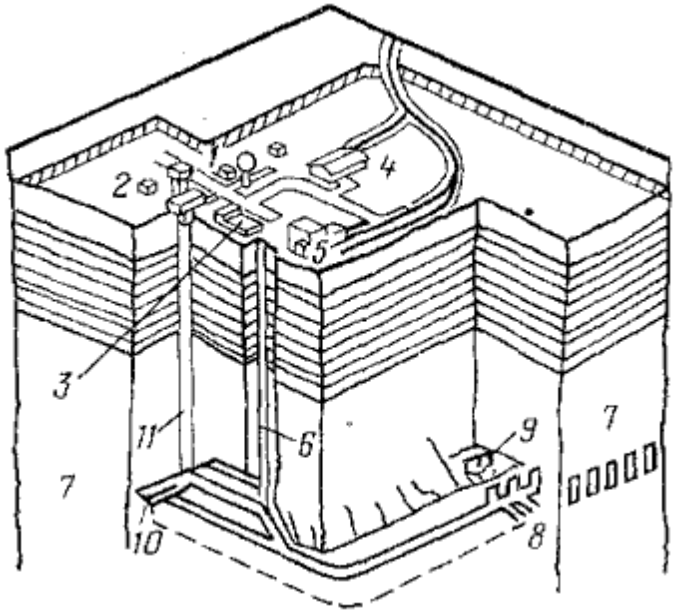


Рис. 2. Один из способов захоронения радиоактивных отходов

1 — здание вентиляционной службы; 2, 3 — помещения для подъемных механизмов; 4 — склад; 5 — здание для приемки отходов; 6 — шахтный ствол для отходов; 7 — соль; 8 — место хранения отходов; 9 — вентиляционный туннель; 10 — дно шахты; 11 — шахтный ствол для персонала.

Подобные хранилища представляют собой огромные сооружения. И число их растет. Наступает момент, когда накопившиеся отходы надо куда-то девать.

Наиболее распространенной является технология прессования. Рабочий канал освобождают от всех конструктивных элементов, не имеющих столь высокой активности, как ядерное горючее: от кожухов, крышек, колпаков, дистанционирующих решеток и прочего. Остаются только тепловыделяющие элементы. Чтобы они занимали меньше места, их можно, например, скрутить в жгут. Затем такой жгут помещается в контейнер, заливается свинцом, закрывается сверху крышкой и заваривается. Получается некая герметичная капсула, предназначенная почти для вечного хранения.

Делается она из меди. Этот металл очень слабо подвержен коррозии, а потому контейнер может простоять без изменений сотни и даже тысячи лет. Когда же в металле начнут возникать свищи и герметичность нарушится, содержимое капсулы будет уже не опасно. За столь долгий срок радиоактивность отходов

успеет снизиться до приемлемого уровня.

Но сразу возникают другие проблемы. Где хранить такие контейнеры?

Да, это тоже достаточно сложный вопрос. Но решаемый. На первых порах подходящим местом казалось дно океана. В некоторых странах успели забросить туда довольно много контейнеров. Но теперь такое решение проблемы считают неперспективным.

Среди разных способов размещения радиоактивных отходов, например, на антарктическом скальном грунте или в районах гранитных формаций, отдается предпочтение соляным шахтам. Причина такого выбора довольно проста. Известно, что соль хорошо растворима в воде. А потому, столкнувшись с большими соляными залежами, можно с уверенностью сказать: они очень долгое время (сотни лет) не контактировали с водой. А значит, этого не должно произойти и в будущем. Разумеется, я упрощенно излагаю идею. И подобные выводы подкреплены серьезными исследованиями.

Кроме того, соль хороша еще в другом отношении. Теплота, выделяемая радиоактивными отходами, вызывает пластическую текучесть соли. В результате она оплавит контейнер. А это — дополнительная защита.

Но конечно, выбором места проблема не ограничивается. Ведь речь идет не о вульгарном захоронении, а об инженерном сооружении. В нем необходимы системы контроля, вентиляции, подъемные механизмы и т. д.

Однако технические пути решения задачи достаточно проработаны и ясны. То же самое можно сказать в отношении других составляющих ядерного энергетического цикла. Хотя, безусловно, это не означает, что все трудности уже преодолены.

Ашот Аракелович, а не слишком ли дорого обходится решение подобных проблем? Вы упомянули о том, что захоронение отходов требует немалых капитальных вложений. Но и другие мероприятия тоже не дешевы: например, вывод из эксплуатации отслуживших ядерных реакторов. Здесь, как известно, существуют три варианта, и трудно сказать, какой дороже — консервация, захоронение или демонтаж? Как сообщают, единственный в истории США демонтаж реактора превзошел по стоимости само строительство: 6,9 миллиона долларов против 6 миллионов. Речь о реакторе Элк Ривер.

Да, это известный случай. Чтобы свести к минимуму облучение рабочих, ведущих демонтаж, корпус реактора

разрезали под водой с помощью плазменной горелки. Однако происходило это двадцать лет назад, и мощность установки на Элк Ривер была в десятки раз меньше, чем у современных реакторов. Вряд ли опыт подобной работы можно считать значительным и экстраполировать его на сегодняшний день.

Разумеется, мое замечание следует воспринимать как уточнение. И сказанное не означает никакого отрицания: думаю, расходы в данной области сократить не удастся. Скорее наоборот: они будут расти. Но иного пути нет…

Строго говоря, абсолютно безопасных источников энергии не существует: при неправильном обращении уголь самовоспламеняется, водород взрывается. Даже солнечные электростанции не безупречны в этом отношении.

Специалистам памятен взрыв, случившийся в 1986 году на солнечной электростанции в испанском городе Табернас. Пожар охватил не только солнечные батареи и пульт управления, но проник и дальше. Когда огонь добрался до блоков, где использовался натрий, бедствие приняло особенно страшный характер. Ведь этот металл на редкость активен: достаточно небольшого нагрева, и при контакте с воздухом он мгновенно воспламеняется, а при соприкосновении с водой взрывается… Огонь бушевал много часов подряд, а пожарные ничего не могли сделать…

Разумеется, об этом случае я вспомнил не для того, чтобы опорочить солнечную энергетику. Но согласитесь, подобные примеры убедительно доказывают, что развитие научно-технического прогресса связано с определенным риском, зачастую труднопредсказуемым. А потому любое техническое новшество должно предусматривать системы, позволяющие безопасно его эксплуатировать, демонтировать и т. п. А значит, какие-то дополнительные расходы здесь неизбежны.

Экономить на безопасности не только рискованно, но и безнравственно.

И здесь вот на что хотелось бы обратить внимание. Как ни странно, но до сих пор не все еще понимают, что безопасность в атомной энергетике и, скажем, на железнодорожном транспорте — это совершенно разные понятия. Характер потерь — даже при одинаковом количестве жертв явных — при аварии на АЭС качественно иной. У нас пока мало изучены такие вопросы, как влияние малых доз радиации на живое. Атмосфера, грунт, вода, пищевые цепочки — здесь возникают очень сложные взаимодействия. Они могут иметь отдаленные последствия, прежде всего генетические. Об этом нельзя забывать.

То, что подобные вопросы требуют тщательных

исследований, само собой разумеется. Но данные обстоятельства должны обязательно учитываться при проектировании АЭС, при нормировании их безопасности и всех составляющих ядерного топливно-энергетического цикла.

Но в таком случае не будет ли дешевле отказаться от атомной энергетики совсем? Или хотя бы последовать примеру США: прекратить строительство новых станций, провести необходимые исследования, а затем уже делать следующий шаг?

Некоторое замедление темпов развития атомной энергетики у нас в стране предусмотрено. Но здесь надо учитывать сложившуюся ситуацию.

Известно, что европейская часть СССР — наиболее энергопотребляющий регион нашей территории. Вместе с Уралом он «забирает» 80% всех топливно-энергетических ресурсов. В то же время свыше 90% энергетических запасов находится на востоке. В результате уже сегодня использование гидроресурсов на Европейской равнине вдвое выше, чем в других регионах. А за донбасским углем приходится идти на глубину свыше километра.

Иными словами, здесь наши возможности приближаются к определенному пределу. И наращивание мощностей атомной энергетики позволило снизить потребление органического топлива в европейской части страны.

Хотя, конечно, до конца проблему не решило: в перевозках с востока на запад доля топлива составляет примерно 40%. И чтобы отказаться от атомной энергетики совсем, надо предложить взамен другие конкурентоспособные источники энергии.

Сейчас вновь большие надежды возлагают на уголь. Разведанные запасы этого топлива настолько огромны, что даже при современных не всегда совершенных методах добычи его должно хватить на многие столетия. Но сразу же возникает ряд проблем.

Первая — транспортировка. К сожалению, месторождения у нас расположены на востоке, а совсем не там, где испытывается дефицит энергии. Кроме того, они отличаются довольно низкой калорийностью угля. Значит, перевозка не только обострит транспортную проблему, но и просто экономически нецелесообразна.

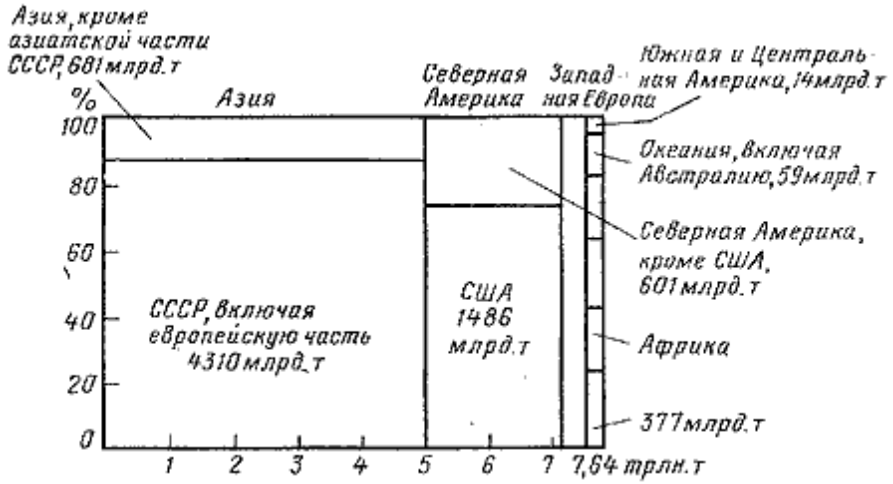


Рис. 3. Оценка мировых извлекаемых запасов угля

Если же вырабатывать электроэнергию на местах добычи, то надо делать сверхдальние линии электропередач. А это требует и времени, и больших капитальных вложений. Причем надо учесть, что при передаче электроэнергии на большие расстояния неизбежны ее огромные потери: до 10% в магистральных линиях и еще около 40% в распределительных сетях.

Но главное препятствие состоит даже не в перечисленных трудностях. Если мы будем развивать ТЭС на угле в том виде, как они существуют, то неминуема экологическая катастрофа. Современные угольные электростанции сжигают в течение года 2×10^6 т угля на 1 ГВт (эл) мощности. При этом образуется примерно 4×10 т золы, из которых 8×10^3 т выбрасывается в атмосферу. Особенно вредны выбросы сернистых газов, составляющие тысячи тонн на 1 ГВт (эл). Проливаясь на землю в виде кислотных дождей, они губят растительность, почву, водоемы и прежде всего здоровье людей.

Достижение же требований мировых перспективных стандартов (сокращение выбросов золы до 0,05, окислов серы до 0,2–0,3 и окислов азота до 0,15 — 0, 2 г/м^3) в настоящее время связано с настолько высокими капиталовложениями, что повсеместное применение таких методов экономически совершенно неприемлемо. Экономически приемлемые «чистые» промышленные технологии использования угля мировой практике не известны. Правда, в этом направлении ведутся исследования. Перспективными, в частности, представляются разработки Энергетического института им. Г. М. Кржижановского. Завершение этих работ и их практическая реализация задерживаются пока из-за недостаточных ассигнований.

И все же с учетом имеющихся природных запасов в обозримой перспективе лидерство, видимо, будет принадлежать атомным и угольным электростанциям. А соотношение удельных весов этих основных конкурирующих типов энергетики в топливно-энергетическом комплексе будет определяться одним: насколько успешно удастся преодолеть свойственные им внутренние противоречия.

Но может быть, тогда перспективней другой путь развития энергетики? Энергосбережение. Как известно, пока коэффициент полезного использования энергоресурсов составляет около 40%. Явно немного. Не целесообразно ли повысить внимание науки к этому вопросу?

Ответ очевиден. Да, энергоемкость нашего национального продукта намного выше, чем в Западной Европе, в США или в Японии. Да, энергия расходуется у нас расточительно. Да, энергосбережение фактически равносильно получению дополнительной энергии. Причем в Советском Союзе резервы колоссальны: счет идет на миллионы тонн условного топлива.

И тем не менее подобные утверждения не означают, что в нашей стране энергосбережение можно рассматривать как реальный «источник» энергии уже сегодня. Почему? В первую очередь потому, что для осуществления такой политики нет, я полагаю, экономического стимула.

Именно поэтому изделия нашего машиностроения, например, в полтора-два раза тяжелее аналогичных зарубежных образцов. (Не будем забывать, что энергозатраты на изготовление изделия напрямую связаны с его массой). Предприятие даже заинтересовано расходовать больше энергии, ресурсов.

Экономика, как правило, носит затратный характер: чем больше потрачено, тем выше себестоимость продукции, а значит, ее цена и с нею прибыль. Пока мы не избавимся от затратной экономики, все наши благие намерения останутся лишь намерениями.

Во-вторых, нельзя обойти вниманием и технологическую незаинтересованность предприятий в экономии ресурсов. Не буду приводить набившие оскомину примеры с непрерывной разливкой стали или с сухим способом производства цемента. Они, как и многие другие, всем известны. Но известно также, что это — энергосберегающие технологии. Технологии, которые не нашли должного применения в нашей промышленности. Отчего? Прежде всего оттого, что не заинтересованы соответствующие ведомства. При любой, даже заведомо убыточной технологии

свою долю от энергетического «пирога» они получат. В других развитых странах такого нет.

Мне могут возразить, что в Японии, допустим, наряду с использованием совершенных технологий применяют и другие методы. Например, всю алюминиевую промышленность как наиболее энергоемкую отрасль вынесли за пределы страны. И алюминий закупают за границей.

Разумеется, для нас такой путь неприемлем. Но вместе с тем в Японии составлены и щедро финансируются долгосрочные программы, в которых значительное место уделено перспективным исследованиям в области энергосбережения. К сожалению, у нас в стране пока даже нет дальновидной и хорошо обоснованной комплексной программы энергосбережения. Ее разработка будет завершена лишь в 1989 году. Единственное же специализированное научное учреждение — Всесоюзный проектно-конструкторский и технологический институт ресурсосбережения Госснаба СССР — нуждается в значительном усилении. Необходимо создание соответствующих научных подразделений во всех отраслях народного хозяйства.

Я, конечно, далек от мысли, что открытие соответствующего института сразу решает все проблемы. Но согласитесь, сложившаяся ситуация четко отражает отношение к энергоснабжению.

Им у нас занимаются все, а значит, никто.

Получается, что «успешное» развитие атомной энергетики велось за счет своеобразного подавления конкурентов. Но сейчас, после Чернобыля, хоть что-то изменилось?

Мне трудно ответить… В последнее время в нашей стране появились группы, хотя и не называющие себя зелеными, но близкие к ним по своим целям, по той политике, которую они защищают. Конечно, в их деятельности есть много эмоционального, порой декларируются необоснованные суждения. И они встречают со стороны ведомств высокомерное и, я бы сказал, пренебрежительное отношение. Но ведь эти люди хотят сберечь нашу природу, думают о будущем нашей страны. Неужели подобные стремления не заслуживают уважения? Да и нет у ведомств особых оснований относиться свысока к предложениям таких групп. Нельзя забывать, в их составе немало специалистов высокой квалификации: физиков, биологов, математиков, химиков, инженеров. Наверное, разумнее было бы прислушаться к ряду их соображений и принять в расчет.

Видимо, это справедливо и в отношении альтернативных источников энергии, за внимание к которым тоже выступают в основном ученые, а не чиновники? Проблема «чистой» энергетики значительно многогранней, чем представлялось совсем недавно. Далеко не исчерпаны возможности гидроресурсов (малые ГЭС). Явно недооцениваются перспективы солнечной энергетики, особенно последние достижения в области физики твердого тела. Так, в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе АН СССР созданы высокоэффективные фотоэлементы, позволяющие преобразовывать солнечную энергию в электрическую с КПД 25–27%. Последние исследования показали, что этот показатель можно поднять до 40–50%. В США, Японии и других развитых странах подобным исследованиям уделяют большое внимание… Другой пример — водородная энергетика. Здесь перспективы могут быть самые неожиданные, потому что есть примеры открытия природных месторождений водорода. А получив «дешевый» водород, человечество сможет решить многие нынешние энергетические и экологические проблемы… Оригинальны химические методы преобразования солнечной энергии, например моделирование природного фотосинтеза. Возникает вопрос: достаточно ли внимания уделяется данным направлениям в нашей стране? И если нет, то можно ли в этой ситуации выявить настоящего лидера в такой сложной области, как энергетика?

К сожалению, эти вопросы не в моей компетенции. Я могу высказать лишь собственное мнение. У нас, на мой взгляд, сложилась довольно ортодоксальная точка зрения, будто альтернативные источники энергии в обозримом будущем заметного влияния па энергетический баланс не окажут. И отсюда такое, я бы сказал, незначительное внимание к работам в этой области.

Конечно, технический уровень тех же фотопреобразователей не отвечает пока нашим экономическим стандартам. Но разве можно оперировать будничными понятиями, оценивая новое научное направление? И я полностью солидарен с академиком Ж. И. Алферовым в отношении возможностей солнечной энергетики. Это — щедрый, экологически чистый и весьма перспективный источник. Разумнее было бы не пренебрегать им, а делать все, чтобы приблизить тот день, когда он займет достойное место в нашей жизни.

Не буду приводить цифры. И без них ясно, что ни солнцем, ни ветром, ни геотермальными ресурсами мы серьезно не занимались. Я не хочу переоценивать возможности альтернативных источников: в ближайшие десятилетия

равноправного соревнования между традиционной энергетикой и, скажем, солнечной не предвидится. Но это не значит, что подобные исследования надо держать на «голодном пайке».

Нельзя бюрократическими методами определить перспективность науки, обильно финансируя одно направление за счет других. Конечно, приоритетные направления обязательны. Но выбор приоритетов должен происходить в свободной научной дискуссии, а не келейно, в тиши кабинетов.

Вот, скажем, мы затрачиваем огромные средства на термоядерную энергетику. Но особой уверенности в том, что она окажет какое-то реальное влияние на энергетическую ситуацию в ближайшее время, тоже пока нет.

Да и не следует подавать проблему термояда слишком упрощенно и забывать, что этот вид энергетики тоже связан с радиоактивностью. Специалисты прекрасно знают: наиболее перспективные схемы термоядерных реакторов предусматривают наработку плутония в бланкете, который потом должен выделяться на химических комбинатах, затем опять использоваться в атомных реакторах и т. д. Иными словами, термоядерная энергетика не исключит «классическую» атомную, а будет к ней своеобразным дополнением. Она просто вовлечет в оборот новые, практически неисчерпаемые источники первичной энергии. Но вместе с тем это не такая уж дешевая, чистая и простая вещь.

И если хотя бы часть гигантских ассигнований на термоядерные исследования уделить развитию нетрадиционной энергетики, страна, без сомнений, от этого только выиграет.

Непривычно слышать подобные высказывания от физика-атомщика.

Почему же? Я очень заинтересован в развитии атомной энергетики. Но именно в развитии, а не в бездумном наращивании ее мощностей. Наращивании, при котором отметаются все сомнения, отсекаются любые исследования, не сулящие мгновенной выгоды.

Вопросы математического моделирования, радиационной биологии, роботизации и многие другие кому-то казались второстепенными. Действительно, лишних киловатт они не давали. Но без этих исследований чернобыльская трагедия становилась неминуемой — она приближалась…

В этой связи остановлюсь на близкой мне области — математическом моделировании. В принципе модели позволяют проигрывать самые разнообразные ситуации: от нормального режима работы реактора до маловероятной аварии. С их помощью можно предвидеть, как изменятся физические, химические,

конструктивные характеристики объекта. По сути дела, модели — самое эффективное, а порой и единственное средство исследования любых аварийных процессов. Например, научно обоснованное размещение АЭС с учетом многообразных определяющих факторов (плотность населения, промышленная инфраструктура, природные условия и т. п.) возможно лишь при использовании корректного математического моделирования.

Мы уже научились достаточно надежно моделировать переходные процессы. И все, что нужно для разработки хорошей системы автоматического регулирования, делаем хорошо. Но этого мало.

Необходимо столь же надежное математическое описание экстремальных аварийных ситуаций, связанных, скажем, с расплавлением активной зоны. Более того, нужны модели процессов, протекающих за пределами АЭС. Долгое время эта мысль не находила должной поддержки. Чернобыль убедил сомневающихся. Теперь начинают разворачиваться работы в данной области. Однако для успешного моделирования нужны быстродействующие ЭВМ, соответствующее оборудование, дорогостоящие стенды — все то, чем наша научно-техническая база располагает сегодня в недостаточной степени. Кроме того, необходимо собрать и обработать огромный объем информации, провести теоретические исследования, разработать и осуществить сложные эксперименты.

С одной стороны, то, что делается, внушает надежды. С другой — вновь демонстрирует наши слабости. Одних инженерных решений мало. Нужны сильная научно-техническая база, принципиальные прорывы во многих научных направлениях, нестандартные и смелые идеи.

Чернобыль: интервью на одну актуальную тему

Прошло более двух лет со дня аварии на Чернобыльской АЭС.

За это время накопился огромный материал, позволяющий говорить об экологических последствиях радиоактивного загрязнения. В чем же они, эти последствия, для природы и человека?

На вопросы журналиста С. Жемайтиса отвечает член-корреспондент АН УССР, заведующий отделом биофизики и радиобиологии Института ботаники АН УССР Дмитрий Михайлович Гродзинский.

Дмитрий Михайлович, вы радиобиолог, то есть человек, изучающий последствия воздействия радиации на жизнь растений, животных и человека. Очевидно, при оценке экологических последствий любой аварии такого рода используются определенные профессиональные приемы, принципы ведения «следствия». Расскажите, пожалуйста, о них и о том, в частности, на что обращают внимание специалисты в такой ситуации прежде всего?

На уникальные особенности аварии. Немногие знают, что воздействие радиации на живое очень индивидуально. И дело тут не только в дозах, которые получили люди, животные. Одна и та же доза радиации, поступившая в организм с различными изотопами, по-разному действует на живое: может поразить мембрану, ядро или цитоплазму. К тому же по-разному воздействует она и на различные органы. Наиболее опасно поражение ядра — в нем находится генетический материал клетки. Не хочу утомлять читателя подробностями, но поверьте, тут тысячи нюансов, дающих ту или иную интерпретацию экологических последствий аварии. Хочу сразу отметить: долг честного ученого — попытаться учесть все эти нюансы и представить общественности достоверную информацию об экологических процессах, идущих сейчас в районах с повышенным уровнем радиоактивности.

Так каков же радиобиологический портрет чернобыльской аварии? В чем ее индивидуальность, в чем — отличие от аварий такого же плана?

Известно, выброс из разрушенного четвертого блока

происходил по крайней мере в течение десяти дней. Первое радиоактивное облако пошло на запад и северо-запад. Второе — на север. Затем ветер в очередной раз изменил направление, и часть радиоактивного облака прошла между Киевом и Каневом.

Радиоактивные вещества выпали на самые разные ландшафты и почвы. На села, леса, болота, сельскохозяйственные угодья. На украинской территории, подвергшейся загрязнению, леса занимают в разных районах от десяти до сорока процентов, остальное — опять же сельскохозяйственные угодья.

Сейчас уже ясно, что радиоактивное загрязнение охватило значительные сельскохозяйственные территории с самыми различными культурами, которые, естественно, по-разному отзываются на загрязнение. Ситуация усугубляется и тем, что эта авария не имеет аналогов в мировой практике не только по масштабу. В воздух в Чернобыле было выброшено около 450 типов радионуклидов. Из них львиная доля приходилась на короткоживущий изотоп йод-131. Он давал буквально 80–90 процентов радиоактивности в первые дни аварии. Постепенно, с прекращением выбросов радиоактивность падала. Вымирали короткоживущие изотопы. На сцену выступали долгоживущие. Например, рутений, родий и другие. В настоящее время содержание и этих изотопов заметно уменьшилось, и на первом месте оказались цезий-137 и стронций-90. Кроме того, обнаружены трансурановые элементы: плутоний, америций и некоторые другие.

Поскольку авария носила очень своеобразный характер, горел графит, очень сильно повышалась температура, го и физико-химическое состояние выброшенных радионуклидов оказалось необычным. А эти особенности радионуклидов обязательно нужно учитывать при оценке экологических последствий аварии.

Что же это за частицы с новыми свойствами?

Прежде всего следует назвать оксиды и карбиды некоторых редких металлов. Они плохо смываются водой с поверхности растений и почвы. Растения поглотить их не могут, и эти частицы становятся вечными странниками. Их подхватывает ветер и переносит с места на место. Все это создало специфические, ранее не встречавшиеся типы загрязнений. Таким образом, чернобыльская авария не была похожа ни на одну из подобных аварий в мире не только по масштабу, но и по качеству загрязнений территорий. Все это вместе создает большие трудности для анализа последствий катастрофы.

Очевидно, в этих условиях для того, чтобы оценить возможные экологические последствия аварии, нужно прежде

решить ряд принципиальных теоретических вопросов?

Совершенно верно, по сути, необходимо разработать радиологическую теорию катастрофы. Только тогда удастся понять, насколько она опасна для здоровья не только нашего, но и последующих поколений.

Что же должно быть положено в основу такой теории?

Но есть ли на самом деле пороговые дозы? Часть радиобиологов считают, что есть. Другие — сегодня к ним примыкает большинство радиобиологов в мире — полагают, что даже самое малое облучение таит в себе опасность.

Почему же тут нет единой точки зрения?

Потому, что тут есть неустойчивый баланс. С одной стороны, на клетку, организм давит радиационный пресс, с другой — ему противостоят силы обороны: служба ремонта генетического материала, иммунные системы и так далее. В каждом конкретном случае разыгрываются драматические события, исход которых зависит от дозы, изотопа, состояния среды и организма.

Вы хотите сказать, что проблема порогового значения дозы включает в себя много составляющих и затрудняет оценку опасности или безопасности дозы?

Совершенно верно. Кроме иммунитета, ремонтной службы клетки, можно упомянуть и состояние кислородного обмена организма, степень его усталости, насыщенности тканей витаминами и так далее. Ряд очень широк. И нужно откровенно сказать, что специалисты сегодня еще очень мало знакомы с принципами устройства радиационной защиты организма. Поэтому большая часть радиобиологов и склоняется к тому, что даже самая малая доза облучения вредна.

И думая о здоровье населения, надо подходить к оценке экологических последствий Чернобыля с очень жестких позиций. Первое же время после аварии некоторые неквалифицированные медики даже рассуждали о том, что небольшие дозы облучения чуть ли не полезны для организма. Что, мол, к малым дозам можно привыкнуть. Это совершенно неверно. Если и говорить о каком-то привыкании, то это процесс, требующий очень длительного времени. Целого эволюционного периода. И в конечном итоге радиация все равно наносит ущерб популяции.

При радиационном поражении организма человека и других живых существ мы имеем дело с уравнением со многими неизвестными. И было бы ошибочно полагать, что наука сможет заполнить эти неизвестные конкретными значениями через месяц или через год. Именно поэтому в оценке экологических последствий нужна особая осторожность.

Напомню, что вы начали говорить о некоторых теоретических аспектах, связанных с оценкой последствий аварии.

Да, по сути, я продолжаю этот разговор. Вторым краеугольным камнем, который должен быть положен в основу теории радиационной экологии, является представление о так называемых стохастических и нестохастических эффектах.

Скажем, когда доза облучения невелика, судить о том, сколько людей заболеет, можно лишь с определенной степенью вероятности. Это стохастические эффекты. Но когда доза очень велика, то можно говорить уже точно, что тот или иной человек, получивший ее, заболеет лейкемией или погибнет. В последнем случае эффекты предсказуемы со стопроцентной долей вероятности. Специалисты называют их нестохастическими. В Чернобыле не приходится, за исключением нескольких десятков случаев, говорить о нестохастических эффектах. Случаи лучевой болезни единичны.

Проявление же стохастических эффектов зависит от множества условий, но прежде всего — от величины дозы. Со стохастическими эффектами связано еще одно чрезвычайно важное в нашем случае понятие коллективной дозы облучения. Коллективное облучение — это суммарное облучение больших популяций. Это бомба замедленного действия. Дело в том, что большая часть повреждений в популяции носит характер скрытых рецессивных мутаций. Но при браках такие мутации могут переходить в гомозиготное состояние и выявляться, что в последующих поколениях приводит к различного рода генетическим нарушениям. Степень вероятности появления этих нарушений считается по так называемым коэффициентам риска.

Для оценки экологических последствий чернобыльской аварии знание точных коэффициентов риска очень важно. Но тут есть одна трудность. Коэффициенты риска рассчитаны давно — для Хиросимы и Нагасаки, для лиц, подвергшихся рентгенотерапии, для семей рентгенологов. Для условий Чернобыля коэффициентов риска, по сути, нет. Тем более что в последнее время проводится ревизия дозиметрических характеристик взрывов Хиросимы и Нагасаки, и сами

коэффициенты риска даже для этих давних катастроф будут пересмотрены. Есть специально утвержденные Международной комиссией по радиологической защите коэффициенты риска, и по ним в принципе можно подсчитать возможные последствия. Но эти коэффициенты очень ориентировочны, ошибки в подсчетах будут наверняка достаточно велики.

Нельзя говорить, как это иногда случается, что, мол, количество дополнительных трагедий Чернобыля очень мало по сравнению с трагическими событиями от других причин. Мы должны бороться за жизнь и здоровье каждого человека, и нужно сделать все возможное, чтобы избежать трагедий не только в нашем поколении, но и в поколениях внуков и правнуков.

Насколько я понял, современное теоретическое развитие радиобиологии и, если так можно выразиться, «уникальности» чернобыльской аварии не дают возможности с большой долей точности прогнозировать экологические последствия катастрофы?

Совершенно верно, оценка экологических последствий катастрофы такого масштаба всегда будет очень относительной. О многих последствиях, скажем эволюционных, мы вообще не можем судить. Уж очень тонки тут взаимодействия, очень опосредованы и непредсказуемо неожиданны возникающие в системах организмов связи…

Так что же может сделать человек, чтобы противостоять радиационному давлению на популяции, да и может ли он что-либо сделать?

Прежде чем начать эту тему, мне бы хотелось сделать важное отступление. Как только случилась чернобыльская авария, в моей лаборатории счетчики тотчас показали повышение радиоактивности. Мы тогда только могли гадать: что же такое случилось? Так вот, вместо того чтобы нам, радиобиологам, объяснить, что произошло, чтобы мы могли дать рекомендации населению, как правильно вести себя в первые часы после аварии, у нас опечатали счетчики. Нам сказали: то, что произошло в Чернобыле, совершенно секретно.

Одна из главных теоретических проблем современной радиобиологии — пороговое значение дозы. Это та доза, за которой, как считают некоторые, излучение якобы уже не наносит живому ущерба.

Сделали это люди невежественные, но имеющие власть.

Невежественный человек всегда предпочитает закрыть глаза на происходящее, иллюзию выдать за реальность. Мне могут сказать, что это все — последствия застойного периода и так далее. Но чем же тогда объяснить, что те же люди сейчас хотя и не опечатывают счетчики, но просто засекречивают всю информацию, касающуюся последствий аварии? Почему? Откуда эта волна инстинктивного засекречивания? Пора уже давно понять, что никакой секретности в делах экологии не должно быть — тайна и экология несовместимы. Эта секретность проистекает опять-таки от непрофессионализма. Когда случилась авария, я встречал немало так называемых профессионалов, которые разглагольствовали о катастрофе и давали рекомендации, не имея даже представления о том, что такое коллективная доза облучения! Не знали, что такое стохастические эффекты облучения!

Секретность уже привела к печальным результатам. Вот передо мной брошюра «Второй выпуск внутреннего доклада по радиационной ситуации в Финляндии, май 1986 года». Прошло всего несколько дней после аварии, а финны выпустили уже второй выпуск бюллетеня. В нем черным по белому написано, как должен вести себя человек на зараженной территории. Тут и рекомендации, где можно гулять детям, когда, сколько и в каких районах пасти скот, что есть, что пить и так далее. Таких выпусков у них было несколько. У нас же не напечатали ничего подобного, хотя, по идее, такого рода печатными рекомендациями следовало обеспечить все население пострадавшей территории. Но и тут была соблюдена своего рода «секретность». Из-за нее пошли слухи. Стали, например, пить йод из пузырьков. Обжигали слизистую оболочку.

Страх, рожденный неинформированностью, привел, например, к тому, что вовсе перестали пить молоко. А молочные продукты — главный источник кальция. Люди сразу же поставили себя в условия кальциевой недостаточности, а в этом случае организм активно усваивает радиоактивный стронций, который по своим свойствам и «поведению» в организме напоминает кальций. Нужны были альгинаты — вещества, которые помогают противостоять радиации. И вот нам прислали все имеющееся в Союзе количество альгинатов — 300 граммов. А нужны-то были тонны. Даже по этой части мы оказались беспомощными. Это и есть проявление полнейшего непрофессионализма в области, где должны работать высокие профессионалы. Оказалось проще засекретить, чем решать проблему. Авось обойдется. Но так ведь в принципе думали и виновники чернобыльской аварии.

Вот и сейчас логика, по-моему, такая же. Дозу люди

получили, ничего уже, мол, не сделаешь, нужно засекретить, чтобы не было паники. Логика очень странная, она повторяет ту, по которой опечатывали счетчики. И паника как раз идет от нее. Киев сейчас наполнен нелепыми слухами о том, что было и будет. Наполнен страхами. Телевыступления перед общественностью призваны ее успокоить. Но в этих выступлениях один лейтмотив — сейчас ничего нет, положение улучшилось, положение улучшается, и будет еще и еще лучше, экологических последствий нет или же почти нет.

Мне кажется, в подготовке этих передач не участвуют психологи. Они бы объяснили, что такой подход к делу только увеличивает количество слухов, панических настроений: успокоениям в большинстве своем люди не верят. В этом смысле очень характерно различие подходов к последствиям аварии у нас и в других странах. Я недавно вернулся с VIII Международного конгресса по радиационным исследованиям. На нем было представлено двенадцать докладов по проблемам последствий радиоактивного загрязнения для Швеции, Швейцарии, Финляндии, Франции, Англии, Испании и других стран, не было только доклада по нашей стране… Особенно обидно это отсутствие гласности потому, что еще многое можно и нужно сделать, несмотря на неординарность ситуации, уникальность катастрофы, отсутствие точных данных о пороговых дозах, о коэффициентах риска.

Дмитрий Михайлович, у нашего читателя может создаться мнение, что чуть ли ничего не сделано по ликвидации последствий аварии…

Нет. Сделано очень многое, и все об этом хорошо знают. Построили саркофаг, обработали огромные территории. Выправили ситуацию. Но долг ученого заставляет меня говорить о негативной стороне, о том, что мешает работе. Ученый должен в любой ситуации говорить правду. И многое еще можно сделать для снижения риска, и многое можно теоретически предвидеть. А если этого не произойдет, то на нашей совести будут трагедии многих людей, уродства новорожденных. Авария должна способствовать тому, чтобы у нас, людей двадцатого века, формировалась новая, гуманистическая мораль, мораль ответственности за жизни не только нашего, но и будущих поколений. Мы не увидим этих людей, но должны помнить, что это — наши дети и внуки, ради которых, по существу, мы и живем на Земле.

Каковы могут быть отдаленные экологические последствия и как их преодолеть?

Недавно получены интересные данные, которые позволяют предвидеть некоторые возможные экологические последствия. Радиация чаще всего повреждает ДНК. Но в чернобыльской трагедии на арену выступают как раз иные процессы, как ни странно, не связанные с образованием опухолей или появлением. генетических аномалий у потомства. Отдаленные повреждения, проявляющиеся через месяцы, годы или десятилетия после облучения, — результат в основном нарушения эндокринного баланса. Но, как ни странно, в результате этих поражений развиваются некоторые «обычные» заболевания типа воспаления легких, инфарктов (при пораженных сосудах), нервные заболевания. В некоторых случаях может поражаться иммунная система. — Кстати, это наиболее вероятное последствие такого рода аварий. И некоторое ослабление иммунной системы у ряда лиц сейчас имеет место.

В первое время после аварии в Киеве появилось большое количество дохлых мышей и крыс. Само по себе обстоятельство удивительное. Известно, например, что на атолле Бикини после взрывов крысы как раз чувствовали себя неплохо.

В Киеве же не было столь высокой радиоактивности, которая привела бы к смерти этих животных. Что же было? Вот тут встал вопрос о том, о чем я уже говорил в первой части нашей беседы, — о возможности предсказать реакции организмами решить уравнение со многими неизвестными. Какое звено сдало у этих животных, невольно ставших подопытными? Нельзя ли использовать эту информацию для изучения положения с людьми?

Эти вопросы нас взволновали. Оказалось, что смерть животных не связана напрямую с радиоактивностью, что тут вступают в действие механизмы опосредованных реакций. Во время аварии были выбросы радиоактивного йода. Этот йод, как показали эксперименты, накапливался в щитовидной железе, вызывая изменения в ее работе. Это влияло на гипофиз, который регулирует иммунные ответы организма. У животных ослабился иммунитет, и они погибли не от радиации, а от вспыхнувшей среди них эпидемии.

Такая же история может происходить и с людьми, к счастью, с не столь трагическими последствиями. Эпидемий не было, но все же отмечен некоторый рост заболеваемости. Ослабление иммунитета как косвенное следствие радиации сейчас наблюдается у многих контингентов жителей Киева. Увеличилась

продолжительность различного рода заболеваний, В том числе воспаления легких, тяжелее протекает эпидемия гриппа. Медики жалуются на ослабление иммунитета, и вполне возможно, что это — результат аварии. Но тут нет ничего катастрофического. Есть много средств выправить положение. К сожалению, никто не говорит населению, как вести себя. А ведь есть простые средства, которые помогут укрепить иммунную систему. Например, нужны витамины. Многие люди вообще перестали есть зелень, боясь радиации. Это совершенно неправильно. На организм, лишенный витаминов, радиация действует сильнее.

Сейчас возник целый класс задач, которые требуют научного решения, именно в плане уменьшения коллективной дозы. Есть, например, вещества, называемые радиопротекторами. Они увеличивают устойчивость организма к радиации. Так, например, некоторые радиопротекторы создают в клетке недостаток кислорода. В результате клетка делится не так активно, и количество повреждений от радиации значительно уменьшается. Нам известны такие вещества для лечения острых лучевых повреждений. Проблема сейчас заключается в том, чтобы найти радиопротекторы для хронического облучения. Задача вполне разрешима. Это могут быть различные группы витаминов, пептины, янтарная кислота, каротин, содержащийся в моркови, и еще целый ряд соединений. Самые эффективные из радиопротекторов увеличивают сопротивляемость радиации примерно в два раза.

Хочу сказать и о том, что во время аварии возросло потребление алкоголя. Это было вызвано тем, что многие люди узнали, что этиловый спирт также является радиопротектором. Это и так, и не так. Дело в том, что действительно спирт увеличивает устойчивость против радиации в 1,13 раза, но одновременно он разрушает молекулы витаминов, которые сами являются радиопротекторами. То есть эффективность спирта скорее отрицательна. Гораздо лучше пить морковный сок или другие соки, в которых содержится каротин. Как видите, несмотря на слабость теоретической базы и своеобразие аварии, радиобиология может дать некоторые полезные рекомендации.

Очевидно, есть определенные способы уменьшения коллективной дозы облучения?

Конечно, есть. И, решение этой проблемы опять же напрямую связано с проблемой гласности. Сейчас появляются высказывания о том, что коллективная доза будет чуть ли не уменьшаться. Но это совершенно неверно.

Коллективная доза облучения неизбежно возрастет. Именно в ближайшие годы радиоактивные частицы в очень большом объеме начнут включаться в человека и животных. Скрывать это бессмысленно. Нужно не скрывать, а действовать.

Рост коллективной дозы можно замедлить в основном за счет правильного питания и использования веществ, блокирующих воздействие радиации. Я уже говорил о них. Это радиопротекторы. Блокировать поступление радиоактивных частиц по трофическим цепям — проблема огромной сложности. Многое тут делается.

Но многие вопросы еще предстоит решить. Например, из ряда районов, расположенных по западному и северному следу радиоактивного облака, — это Народический, Полесский районы — до сих пор возможно поступление грязной продукции. На мой взгляд, на этих территориях нужно возделывать технические культуры. При определенных загрязнениях почвы нужно повышать дозы удобрений и извести. Например, цезий ведет себя по отношению к растениям так же как и калий. Если вносить калийные удобрения, то при определенных условиях можно ослабить поступление в растения цезия. Поэтому нужно очень заботливо относиться к калийному питанию растений. Стронций же выводится с помощью кальция. Можно и нужно применять внекорневые подкормки, которые уменьшают интенсивность всасывания радиоактивных веществ. Здесь можно добиться большого эффекта. И в конечном итоге эти простые меры уменьшают коллективную дозу.

Но к сожалению, эти вопросы решаются очень медленно. В частности, в нашей лаборатории был разработан способ внекорневых подкормок растений, уменьшающих вынос радионуклидов растениями. Мы испытывали подкормки уже зимой 1986–1987 года. Чтобы успеть к посевной, ломали, вырубали монолиты почвы с озимой пшеницей и ставили эксперименты, изучали, как составы ведут себя в грунте. В результате были вовремя разработаны рекомендации, и наша лаборатория сразу же. подала документы в Агропром Украины. Ответ, разумеется отрицательный, пришел нам только летом, когда подкармливать были уже поздно. В Агропроме даже не разобрались, о каких подкормках идет речь и для чего они нужны. К сожалению, это не единичный случай небрежного отношения к предложениям ученых.

Какие, на ваш взгляд, есть еще методы уменьшения коллективной дозы облучения?

Прежде всего население должно располагать индивидуальными дозиметрическими приборами, как те же японцы, которые ходят на рынок со счетчиками и меряют радиоактивность капусты или рыбы. Я не хочу сказать, что у нас не производится контроля за радиоактивностью продуктов, но все же есть значительная вероятность попадания на стол неконтролируемой загрязненной сельскохозяйственной продукции.

Даже из самых удаленных районов могут вдруг поступить загрязненные продукты, например грибы. То же самое происходит с водой. Вы можете измерить уровень радиоактивности воды, и он будет в норме, но накипь в вашем чайнике будет радиоактивна.

Человек должен знать, что он ест и пьет. У нас же не только нет индивидуальных средств дозиметрии, но и всякие попытки изготовить их пресекаются в уголовном порядке. Объяснение опять то же: «как бы чего не вышло», как бы не поднялась паника. А то, что от неинформированности распространяются нелепые слухи, то, что наносится ущерб здоровью людей, кажется, никого не волнует.

Да, мы не можем пока предвидеть достаточно достоверно экологические последствия, но по крайней мере предупредить возрастание коллективной дозы в популяции мы должны. Это-то мы можем. Из-за неинформированности люди сами себе повышают дозы облучения. Так, в деревнях сейчас широко распространились случаи повышенной радиоактивности в русских печах. Топят сухим подсолнечником, а в нем как раз оказалось большое количество радионуклидов.

Дмитрий Михайлович, известно, что в результате аварии возник ряд специфических проблем. Среди них, например, психологические, вызванные стрессами?

Да, некоторые люди с неустойчивой психикой решили, что для них, как говорится, «жизнь кончена», что они погибли. Иные пустились в разгул, другие впали в депрессию. Вообще, на мой взгляд, психологи должны стать непременными участниками анализа последствий аварии. Насколько я знаю, сейчас проводятся психологические исследования среди группы населения, выселенной из тридцатикилометровой зоны. Психологическая помощь, я бы сказал, важнейшая в этой ситуации. Людям нужно помогать преодолевать стрессы, к которым они оказались неподготовленными. В связи с этим медики должны ожидать возрастания количества нервных заболеваний, инфарктов, гипертоний — словом, всего того

«букета», который расцветает на почве сильных стрессов.

Другая специфическая проблема, к которой, на мой взгляд, нужно привлечь внимание научной общественности, — это экобиологическая ситуация в тридцатикилометровой зоне. Здесь волей-неволей был поставлен уникальный эксперимент. Ушел человек. Осталась уже затронутая присутствием человека природа. Как там поведут себя животные, целые экосистемы? Уже известно, что вдруг образовались стаи кур. Петухи почему-то стали образовывать новые семьи, выросла их агрессивность. Куры и петухи перестали бояться лис. Сформировались большие собачьи стаи, которые по своей структуре напоминают волчьи. Остались брошенными поля пшеницы, ячменя. Посевы включаются в естественные биосистемы, и возникают новые, невиданные сообщества. Сам процесс одичания окультуренной природы очень любопытен. Здесь проступают многие закономерности, которые нужно учитывать при обратном ходе событий — окультуривании дикой природы.

Возникают и самые неожиданные проблемы. Например, в районе Чернобыля появилось огромное количество уток. Это естественно. Тут спокойно. Мало людей. Много корма. Но ведь эти сотни тысяч уток аккумулируют радиоактивные вещества. Они улетают в самые разные места. И конечно, не хотелось бы, чтобы население ело радиоактивную дичь. Кажется, пустяк. Но в деле с радиацией пустяков нет. И эта проблема еще раз говорит о том, что нужны индивидуальные средства контроля.

Большая часть радиоактивных загрязнений, как показывают подсчеты, сейчас аккумулирована в илах. Как они себя поведут в случае сильного паводка, не повысится ли от этого активность воды, не пострадает ли живность, населяющая реки и водохранилища? Ведь это также вопрос, который требует срочного теоретического осмысления, а затем принятия каких-то практических мер. Ведь если илы выбросит с сильным паводком на поля, это будет также катастрофа. Огромные массивы плодороднейшей земли окажутся радиоактивными.

Словом, выявляются все новые и новые проблемы, подчас совершенно неожиданные и относящиеся к разным областям знаний психологии, медицине, радиологии, математике, строительству. И нельзя ожидать, что число этих проблем вдруг резко уменьшится. Скорее наоборот. Еще раз подчеркну: нельзя их замалчивать, нужна гласность и открытость, всякая секретность нанесет лишь вред, поскольку скроет проблемы, не даст возможности широкой научной общественности принять участие в их решении. Опыт преодоления последствий катастрофы должен быть открыт не только нам, но и всему миру.

Что вы можете сказать о сообщениях, появившихся в специальной печати, где, в частности, говорится: «Эффекты прямого радиационного воздействия на растительные и животные сообщества в виде радиационного поражения хвойных лесов и заметных изменений численности почвенной мезо-микрофауны проявились в ограниченной зоне сильного радиоактивного загрязнения на расстоянии нескольких километров от Чернобыльской АЭС. На остальной территории, подвергшейся воздействию аварийного выброса, собственно экологических эффектов радиоактивного загрязнения не отмечалось»?

Вот посмотрите — Дмитрий Михайлович вынул из стола небольшую фотографию. — Это снято далеко от Чернобыля, уже за зоной. Какое это, на ваш взгляд, дерево?

Сосна, иглы длинные…

По фото даже самый искушенный специалист не скажет, что здесь ель, — иглы-то сантиметров по пять-шесть. И это — результат действия радиации…

Тяжелая вода! Почему бы и нет!

С удивлением смотрел я на льдины, что медленно плыли по реке. Кончилось лето, на пороге долгая северная зима. И вдруг — ледоход! Причуда природы, не иначе. Впрочем, картина, вполне привычная для этих мест.

Реки Якутии, и не только Якутии, а любой территории, лежащей «а мерзлоте, имеют этот свой каприз — осенний ледоход. Красиво и необычно. Величественные белые льдины, а вокруг миллионы, нет, миллиарды мельчайших льдинок, которые зовутся здесь шугой.

Вода в реке от шуги не прозрачная, а какая-то матовая, шершавая, совсем на воду не похожая.

Время от времени из глубины выныривали новые и новые льдины — одна за одной — их становилось все больше и больше.

В иные годы подводные льдины появляются даже тогда, когда и шуги-то еще нет. Река чистая, холодная, и вдруг — льдины. На некоторых же реках даже летом, в июле, в самую жару выплывают подводные вестницы зимы. Откуда?

Даже внешне они особенные, совсем не такие, как весенние льдины. Весной река ломает лед, и оттого льдины кажутся похожими на осколки разбитого оконного стекла, плоские, с ровными гранями. А эти — какие-то округлые. И поверхность у них не плоская. Льдины напоминают скорее облака, но никак уж» не стекольные осколки. Медленно плывут они, путаясь в шуге. Наконец останавливаются. До весеннего ледохода. Начинается зимняя жизнь реки…

Убежден, сотни и тысячи людей видели осенний ледоход. Его наблюдал В. К. Арсеньев вместе со своим спутником Дерсу Узала.

Оставил о нем сведения А. Ф. Миддендорф — великий путешественник XIX века, он первый, в одиночку исследовал самые отдаленные районы Сибири и Дальнего Востока. Не верили глазам своим казаки, русские покорители Сибири, когда впервые увидели белое чудо на осенней реке… А для коренных сибиряков осенний ледоход — обычное явление, неудивительное: оно здесь было всегда.

И все-таки заинтересовался ли кто-нибудь по-настоящему, этим удивительным творением природы? Думаю, нет. Утверждать так позволяет поиск, который я провел в Библиотеке имени В. И. Ленина, а также беседы со специалистами. Откуда берутся эти странные льдины? Какова природа осеннего ледохода? Никто толком не объяснил.

В поисках ответа на вроде бы простые вопросы пришлось

вспомнить уже изрядно забытые курсы наук, которые когда-то читали нам на лекциях в Московском университете. Физика, гидрология, гляциология, криология… Как давно все это было. Осенние льдины стали для меня, профессионального экономиста-географа, своеобразным хобби. Хобби, которым не похвастаешься перед друзьями, как марками или спичечными коробками, но не менее интересным и увлекательным. Я принялся коллекционировать знания, которые вряд ли пригодятся мне на основной работе.

Итак, белые льдины, выныривающие со дна…

Природа летнего ледохода, по-моему, довольно проста. За зиму сибирская стужа промораживает многие реки до дна. Два-три метра глубины — морозу нипочем. Всю реку скует к весне.

Вспоминаю, когда я был в Тынде, на БАМе, видел, как бурили лед на реке. Почти три метра шел лед, а подо льдом еще жила река, правда, глубиной всего лишь сантиметров десять — двадцать.

Весной промерзшую реку зальют талые воды. Со склонов сопок побегут ручьи, и сойдутся они на реке, оставив под собой лед. Лишь через месяц-полтора по-настоящему прогреется, проснется река, зимний лед, уже изрядно подтаявший, всплывет на поверхность и скоро растает на своей долгой дороге в Арктику. Лето все-таки.

А вот природу осеннего ледохода объяснить, видимо, не так просто. Известно, зимой и поздней осенью температура на дне реки всегда положительная. Этой температуры недостаточно, чтобы вода превратилась в лед… Стоп. А белые льдины? Они же появляются именно при этих условиях.

Обращаюсь к литературе: как специалисты объясняют это противоречие?

«Для образования подводного, или внутриводного, льда необходимо определенное переохлаждение воды, наличие ядра кристаллизации и удаление теплоты агрегатного перехода воды в лед», — прочитал я в университетском учебнике.

Здесь, видимо, стоит сделать небольшое отступление и объяснить некоторым неподготовленным читателям, что вода — самое распространенное на Земле вещество! — еще очень недостаточно изучено. Многие неожиданные свойства воды до сих пор приводят ученых в растерянность и замешательство.

Так, если удалить из воды ядра кристаллизации — а ими могут быть любые вкрапления, даже микробы, — то она не замерзает и при температуре в минус двадцать градусов.

На этом свойстве хотелось бы остановиться чуть подробнее. Это очень важно. Вода при плюс четырех градусах имеет

абсолютную плотность, в этот момент она самая тяжелая. Потом, с понижением температуры, плотность ее уменьшается, и охлажденная вода уже становится легче, а лед — совсем легким, он плавает. Поэтому-то в реке или озере, на дне зимой температура всегда только положительная, там скапливается самая тяжелая масса воды. И самая теплая!

В этом ответ на один любопытный вопрос: почему река или озеро никогда не замерзнут со дна, вернее почему водоем, если он достаточно глубокий, никогда не остынет ниже нуля градусов даже в самый сильный мороз.

Еще один штрих, мимо которого нельзя пройти: неизбежная приблизительность количественных характеристик процесса.

«Около четырех градусов…», «почти» — эти слова, конечно, не делают чести исследователю, но, к сожалению, без них не обойтись. Лабораторной точности в исследовании природных процессов, по-моему, не бывает и быть не может.

Например, известно, что максимальная плотность воды наблюдается при плюс 3,98 градуса. Однако в природе этой температуры не найти. Почему? Потому что в реке нет дистиллированной воды. Вода в реке всегда некий раствор, где-то он одного состава, где-то другого. А если природная вода — раствор, то согласно положениям термодинамики неизбежна сдвижка ее некоторых физико-химических характеристик, вернее их количественных значений. Отсюда и приблизительность, но на уровне сотых, а порой и десятых градуса.

И в этом нет ничего особенного, считаем же мы обычно время с точностью до минуты, и это нас в быту вполне устраивает, хотя есть и секунды, о которых редко кто говорит. Разве что на спортивных соревнованиях.

Однако продолжу свою основную мысль. Река или озеро, даже если они лежат на мерзлоте, со дна никогда не смогут замерзнуть еще и потому, что по теплоемкости вода не знает себе равных среди почти всех других веществ на планете. И это еще одна неожиданность в свойствах воды.

Дно реки, грунт, вода согревает, и они всегда у поверхности соприкосновения имеют только положительную температуру. Если бы было иначе, то северные реки всегда текли бы только по ледяному желобу.

Чего в природе не наблюдалось.

А наблюдалось другое. Известны случаи, когда озеро или река входили в соприкосновение с подземным, ископаемым льдом на берегу или у дна. Этот лед очень быстро таял.

Кстати, мало кто из неспециалистов знает, что река или озеро на Севере, в тундре, часто могут быть блуждающими.

Вечномерзлый мягкий грунт быстро разрушается от воздействия тепла водной массы озера или реки, особенно летом. Мерзлые берега подтаивают, согреваются и осыпаются. Порой на несколько метров за короткое лето может сместиться озеро в тундре. А то и вовсе исчезнуть, если на пути встретится подземная жила льда. Такие случаи тоже зафиксированы в литературе. Этот процесс называется термокарстовым…

Горняки на Севере иногда сами специально вызывают термокарст, если, например, возникает необходимость на каком-то участке оттаять мерзлоту на небольшую глубину. Этот участок весной заливают водой, и вода быстро справляется со своей работой. Но вернемся к нашему подводному льду. Продолжаю цитирование учебника: «При возникновении подводного льда замерзающий приземный слой воды может охлаждаться за счет теплопроводности подстилающей горной породы, если она имеет отрицательную температуру…»

После прочтения этой фразы у меня возникло подозрение в достоверности предлагаемого объяснения: налицо нарушение физического закона: якобы более легкая масса воды должна быть у дна. Почему? Неприемлемы утверждения и о теплопроводности подстилающей горной породы, граничный слой грунта не может иметь отрицательную температуру.

Дальше в тексте еще и еще раз просматривается некое невнимание к законам природы, отметается истина ради того, чтобы как-то объяснить механизм подводного ледообразования. В частности, говорится, например, о кристаллах льда, которые почему-то должны опускаться на дно, хотя лед всегда легче воды. На порожистой мелкой реке — да, такое вполне возможно. Кристаллики льда будут намораживаться на придонные камни из-за турбулентности водного потока. Река на перекатах захватывает пузырьки морозного воздуха, охлаждается быстрее… Но когда река спокойная и глубокая? Или озеро? Там же турбулентности потока нет! Почему кристаллы льда должны опускаться на дно? Течение же спокойное.

Прочитанное объяснение явно не удовлетворяло, его надежность сродни карточному домику: только дунь. Тем более что оно строилось на очень старых и, похоже, единственных опытах, поставленных еще в 1938 году. На лицо желание объяснить увиденное, известное, но с помощью весьма произвольных доказательств.

В других литературных источниках мне тоже попадались подобные объяснения, также основанные на опытах 30-х годов, но несколько в иной трактовке. Вот одно из них:

«Для образования льда в толще речной воды недостаточно

определенного ее переохлаждения и энергичного перемешивания, необходимо ещё, чтобы поверхность воды была свободна ото льда — через нее тепло будет уходить в атмосферу».

Ну, это уж слишком вольно. Вольностей природа не терпит, все-таки физика — наука строгая, доказательная, требующая к себе уважения. А подобные объяснения природных процессов, по-моему, все равно что игра в шахматы не по правилам: ферзя же по берут «за фук».

В естественных водоемах переохлаждение воды бывает крайне редким и самое большее лишь на одну сотую градуса. Так уж устроена природа на планете Земля. За этой сотой обычно следует ледообразование, или фазовый переход воды из жидкого в кристаллическое состояние. Лишь в лабораторных условиях, после тщательнейшей подготовки можно наблюдать переохлажденную воду.

Исследование имеющейся в библиотеке, зарубежной литературы тоже не вызвало у меня чувства удовлетворенности. Правда, зарубежные авторы более корректны, они придерживаются мнения, что «причины его (подводного льда — М. А.) появления до настоящего времени полностью не выяснены».

Как видим, не все так просто с образованием донного льда, который за рубежом называют еще и якорным.

«По-видимому, наиболее правдоподобной является теория, по: которой якорный лед возникает в результате переохлаждения камней и грунта на две реки и быстрого излучения ими тепла в ясные холодные ночи (при отсутствии льда на поверхности воды). Охлаждаясь при этом до 0 °С, частицы грунта и камни становятся ядрами кристаллизации льда. За одну ночь на дне реки может нарасти огромное количество якорного льда. Утром, когда начинает светить солнце, благодаря действию его тепла этот лед может оторваться от дна. Лед всплывает на поверхность…»

Что не устраивает в этом объяснении? Кроме уже упоминавшихся возражений, появляются следующие. Осенью, в сентябре, солнце на Севере не теплое, мало его, чтобы река, тем более холодная, замерзающая, ощутила хоть какое-то его воздействие.

Не устраивает и другое — почему за одну ночь нарастает якорный лед? Нет. Процесс этот обычно продолжается несколько дней. Его можно видеть! И лед со дна всплывает не только при солнце, но и в пасмурную погоду и даже вечером… Опять неточности? Видимо, действительно, надо согласиться с мнением, что причины появления внутриводного льда до настоящего времени не выяснены.

В поисках объяснений я перепробовал немало гипотез: и своих, и оппонентов, перед которыми приходилось выступать.

Первое, что является на ум, подводный лед — это все та же вода, но в ней, видимо, что-то растворено. Однако учебник физики рушит скороспелое предположение. Есть законы термодинамики, которые объясняют, что чем больше солей растворено в воде, тем ниже температура ее замерзания. Морская вода, к примеру, замерзает только при отрицательной температуре… Законы природы не обойти.

Еще одно полезное наблюдение: местные жители высоких широт не потребляют речной лед для приготовления пищи. На Севере традиционно принято использовать для этих целей только озерный лед или снег.

Что же это за вода такая? А почему осенние льдины постепенно намораживаются именно у дна? Камни, коряги — все сверху осенью кажется белым от рыхлого осеннего льда на дне.

Смотришь на ветку или пень, а они будто под снегом. Под подводным снегом!

Может быть, все-таки вечная мерзлота виной всему, она как-то переохлаждает реку…

Нет… Не всюду на реке всплывают осенние льдины, а мерзлота — всюду. И «подводный снег» тоже не везде на Севере увидишь.

Конечно, влияние мерзлоты сказывается. Не будь ее, не было бы и осеннего ледохода. На южных реках его поэтому и нет. Скорее всего, мерзлота усиливает какие-то естественные процессы в реке, которые, видимо, протекают и в несеверных реках, но протекают там слабо, почти незаметно.

Какие же это процессы? Или процесс?. Пожалуй, все-таки процесс! Фазовый переход. Ледообразование. Мерзлота убыстряет его. Поэтому мы видим осенние льдины на северных реках и не видим их на южных. Там, на юге, «осенний ледоход» начинается позже, идет подо льдом, он скрыт от взоров наблюдателя, но внутриводный лед, как известно, встречали там тоже. В Ленинграде, например.

Однако на главный вопрос ответа найти так и не удавалось. Не удавалось без предположения, вернее, без допущения: а что если в составе речной воды в малых количествах находится какая-то другая вода. Та, которая намораживается именно у дна и больше нигде. Известно ж, что все тяжелые частички в воде всегда стремятся вниз, ко дну, так велят им силы гравитации, силы тяжести… Тяжелая вода? А почему бы и нет.

Тяжелая вода — это изотопная разновидность обычной воды. Вместо обычного водорода (протия) здесь присутствует его

изотоп — дейтерий, он вдвое тяжелее.

Всего же известны десятки изотопных разновидностей воды. Они очень существенно различаются между собой. Доказано, что теоретически возможно встретить в природе даже сотни «сортов» воды. Но это только теоретически. Не все изотопы водорода и кислорода пока известны науке, тем более что некоторые из них очень недолговечны.

Как считают ученые, например академик И. В. Петрянов-Соколов, у водорода может быть пять изотопов, ныне же известны лишь два — дейтерий и тритий. И оба они получаются из протия.

Поэтому известны протиевая, или обычная, дейтериевая, или тяжелая, вода, а также тритиевая, или сверхтяжелая, вода. Но тритий в природе очень редок, он не стабильный изотоп, поэтому сверхтяжелой воды почти не бывает. По одним расчетам выходит, что ее может быть всего несколько литров на планете, а по другим — несколько наперстков. В общем, не известно сколько.

Хотя по наблюдениям метеорологов замечено, что трития в природе прибавилось, особенно в 50-х годах, когда весьма часто в атмосфере испытывались различного вида атомные вооружения. Но этот тритий был все же не природного, а техногенного, искусственного, происхождения, как следствие повышенной радиации атмосферы.

Надо заметить, что природные дейтерий и тритий получаются из протия тоже под воздействием радиации, но только естественной или космической. Нейтрон космического происхождения, попадая в протиевую среду, может быть захвачен атомом протия… Конечно, процесс этот сложный, его изучает физика элементарных частиц, но упрощенно он выглядит именно так.

С нейтроном космического происхождения атом протия становится тяжелее, и с этого момента он уже называется дейтерием. Если к нему попадет еще один нейтрон, то, очевидно, атом станет еще тяжелее, и называться он уже будет тритием. Атомная масса у протия 1, у дейтерия 2, у трития 3.

Мировой океан, ледники, атмосферная влага — вот природные «фабрики тяжелой и сверхтяжелой воды». «Фабрики», которые работают без выходных — каждый год, каждый час, каждый миг.

Если мы откроем водопроводный кран, то там никогда не будет однородной воды — всегда только «разноизотопная» ее смесь. Причем молекул, содержащих дейтерий D_2O и HDO, окажется очень немного, по массе где-то 150 граммов в пересчете на тонну простой воды… Получается, что тяжелая вода есть всюду — в каждой капле, в каждой луже! — проблема в том, как

ее взять.

150 граммов в пересчете на тонну. А много это или мало? И вообще, как оценивать подобные соотношения? 0,015% — цифра явно невелика, чтобы говорить о ее весомости. И тем не менее. Для ее «прочувствования» проведем простейший опыт. В стакан с водой бросим несколько крупичек марганцовки, вообразив при этом, что марганцовка имитирует вкрапления тяжелой воды… Очень наглядный получается опыт. Вся вода окрашивается. А ведь несколько крупиц — это еще далеко не 0,015%.

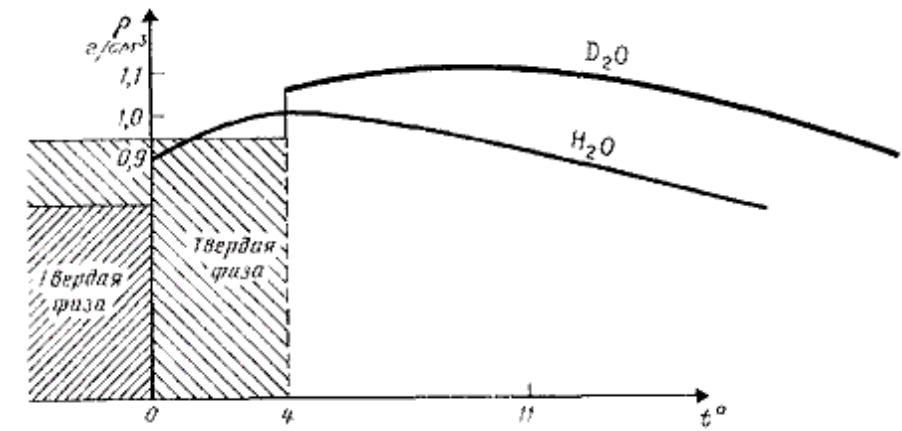


Рис. 4. Зависимость между температурой и плотностью протиевой и дейтериевой воды

Возможное существование дейтерия предсказал в начале века Э. Резерфорд, это было одно из тех выдающихся открытий, которые относятся к категории «открытий на кончике пера». Но в 1932 году американский исследователь Гарольд Юри на новогоднем собрании Американской ассоциации развития науки объявил миру об открытии им тяжелого водорода — дейтерия. За это выдающееся достижение ученый был отмечен Нобелевской премией 1934 года.

Потом узнали о тяжелой воде, о ее удивительных свойствах. Оказывается, плотность ее на 10% больше, чем у обычной. А максимальная плотность наблюдается при плюс 11 градусах, в то время как у обычной воды максимальная плотность бывает только при плюс 4 градусах.

Но все-таки самым отличительным в свойствах тяжелой воды мне показалось то, что она замерзает при положительной температуре, а именно при плюс 3,81 градуса.

Предположить, что именно тяжелая вода концентрируется в осенних льдинах, было бы очень соблазнительно. И такое

предположение не противоречило бы физическим законам! Фазовый переход при той температуре, что получается на дне осенней реки, вполне возможен.

Некоторое количество нового вида льда при этом обязательно получится.

Но… разочарование уже поджидало меня. Буквально первые же литературные источники сообщили, что тяжелой воды (D_2O) в природе нет. Вернее, почти нет. Дейтерий в природных водах обычно находится в составе молекул, включающих атом кислорода, один атом протия и один дейтерия (HDO).

У этих «гибридных» молекул свойства и поведение несколько иные, чем у тяжелой воды, хотя бы потому, что они лишь на 5 процентов тяжелее обыкновенной — протиевой воды. Разочарование, однако, не обескуражило, а лишь заставило углубить поиск, расширить свои познания. Как? Больше читать физической и химической литературы. Было трудно, но, как говорится, было бы желание, а при желании можно самостоятельно освоить и китайский язык.

Удалось узнать, например, как получают ныне тяжелую воду. Более всего распространены три метода: изотопный обмен воды и сероводорода, дистилляция водорода и многоступенчатый электролиз. Так, например, в последнем методе тяжелая вода концентрируется в остатке электролита. Все эти методы требуют больших затрат энергии и дорогостоящего оборудования. Производительность их невелика.

И вот находка — если сопоставить некоторые физико-химические данные (это узкоспециальный вопрос, и останавливаться на нем здесь не имеет смысла), то согласно известным формулам и зависимостям при понижении температуры в природной воде количество молекул тяжелой воды увеличивается. А количество «гибридных» молекул, наоборот, уменьшается. Что не случайно, а следствие ассоциации и диссоциации молекул — процессов, обязательных при понижении температуры. Так вещество — вода — готовится совершить свой фазовый переход из жидкого в твердое состояние.

В этот период в воде протекают сложные процессы на молекулярном уровне: изменяются водородные связи, структура, появляются удвоенные, а потом и утроенные молекулы. Все эти перемены есть как бы подготовительная работа, вследствие которой нарождается структурное кристаллическое тело — лед.

Этот подготовительный процесс можно назвать своеобразным предкристаллизационным разделением водного раствора. Вода начинает напоминать жидкий кристалл — жидкость находится в некоей пограничной зоне.

Как же при этом ведут себя соединения дейтерия? Как родные братья в трудную пору — они объединяются. Поэтому-то число «гибридных» молекул в растворе уменьшается, а «чистых» дейтериевых и «чистых» протиевых, наоборот, расчет.

И лишь когда наконец созреют условия для фазового перехода, дейтериевые молекулы первыми прореагируют на них. В йоде, в водоеме у дна появятся мельчайшие кристаллики льда.

Эти кристаллики под воздействием течения могут слипаться между собой и образовывать плавающую снежинку. Могут таять и вновь появляться в воде, но уже более крупными кристаллами. Они не могут лишь одного — всплыть. Потому что их плотность больше, чем плотность воды в придонной зоне водоема.

Течение несет образовавшиеся в воде кристаллы, они где-то прилипают ко дну, намораживаются к корягам, камням, к любым преградам, встречающимся на пути. Постепенно кристаллов дейтериевой воды на преградах собирается все больше. Они уже совсем облепили некоторые преграды и образовали на них белые льдины.

Если же преграда на дне оказалась подвижной — а кристаллы вполне могут облепить и такую, — то по дну реки тогда будут кататься шары. Ледяные белые шары, похожие на степное растение, которое принято называть перекати-полем. Водолазы не раз встречали странные шарообразные льдины, которые катило течение по дну замерзающей северной реки.

А всплывают подводные льдины потому, что они сложены не только из кристаллов тяжелой воды, но и некоторого количества простой, протиевой воды, которая всегда должна быть между хаотически намерзшими чуть ранее кристаллами. Такая вода называется кристаллизационной. Она, видимо, остывая у дна водоема, и придает плавучесть подводным льдинам…

Теоретически в моих новых рассуждениях теперь вроде бы все выходило складно: фазовый переход, кристаллы, подводные льдины, представляющие собой некое хаотическое нагромождение кристаллов. Но известен ли в природе такой «бесформенный» лед?

Без особых надежд опять ищу в книгах по гляциологии — какие бывают составы и структура льдин. Хотя со школы помню, что лед — это в первую очередь кристаллическое тело, не случайно же процесс его появления называется кристаллизацией. Наконец нахожу то, что не думал найти.

«Подводный лед имеет весьма разнообразные формы. Как правило, он слагается довольно крупными кристаллами с хаотической ориентировкой». Эврика!

Вот оно, нагромождение смерзшихся мельчайших

кристаллов!

Появилась некоторая уверенность. Узнаю больше о тяжелой воде, именно о тяжелой, тяну за ниточку. Оказывается, дейтериевая вода подавляет все живое. Биологически опасное вещество! Значит, не случайно северные народы столь привередливы к воде, вернее ко льду…

Что дальше?

Гипотез о всевозможных свойствах дейтерия высказано в литературе больше, чем достаточно. Но фактических данных, подтвержденных опытом, крайне мало. Приходится только удивляться, как могли авторы иных высказываний строить свои выводы, располагая столь скудной исходной информацией?

Сведения о переносе дейтерия у разных авторов порой существенно отличаются. Чему верить? Информация догадок порой явно преобладает над информацией факта.

Конечно, со временем, возможно, все и изменится, будет разложено по своим полочкам, пока же причина такого разнобоя мнений (или неосведомленности?), по-моему, в… чрезвычайно высокой цене дейтерия на рынке, в огромной потребности в нем. И в секретности, которой окутаны работы с дейтерием.

Если поначалу на дейтерий смотрели лишь как на некий химический курьез, то уже в конце 30-х годов, после исследований знаменитого итальянского физика Энрико Ферми, начался настоящий бум, акции дейтерия баснословно подскочили — тяжелая вода, как доказал тогда гениальный итальянец, имеет огромнейшее значение в военной промышленности будущего. Приближалась атомная эра человечества.

За ценой не стояли! Лучшие умы науки принялись усовершенствовать технологию, которую еще до начала второй мировой войны начала применять норвежская фирма «Норск-Гидро» — первый монополист на мировом рынке тяжелой воды.

В дальнейшем нужда в тяжелой воде стала еще больше — она уже зарекомендовала себя в атомной энергетике как замедлитель быстрых нейтронов, как отличный теплоноситель в ядерных реакторах.

Изотопы водорода нашли применение в геологии, в биологии. И — все свыклись с мыслью, что дейтерий очень дорогой, что его очень мало, что нынешняя технология его получения единственно возможная.

Видимо, действительно только этим можно объяснить ситуацию с удивительным дейтерием, о котором столь скудны сведения. Я имею в виду в первую очередь геологическую, географическую литературу, то есть поисковую, познавательную, общую. По крупицам собирал я сведения.

Начнем с происхождения дейтерия. Вроде бы все ясно, он образуется из протия вследствие захвата им нейтрона космического происхождения. Ясно и то, что дейтерий — стабильный изотоп. Возникает законный вопрос: где на планете лучшие условия для образования дейтерия?

А ответ на него, по-моему, получается пока весьма спорным. Я не встретил иного утверждения, кроме как: воды экваториальной зоны Мирового океана. Там, мол, наилучшие условия. Но так ли это в действительности?

Если верить экспериментальным анализам, пробам воды, то все вроде бы верно. Концентрации дейтерия в экваториальных морях выше, чем в морях умеренных широт. Однако как тут не вспомнить Козьму Пруткова: «Не верь глазам своим»?

Почему там, у экватора, концентрация дейтерия больше? Как недавно установлено, что молекулы соединений дейтерия легче испаряются с поверхности моря, чем молекулы протиевой воды. В этом надо искать ответ. Тем более что, например, в замкнутых внутренних водоемах пустынь концентрации дейтерия еще выше, чем в море. (Речь идет о верхних слоях водоема.).

Нет, по-моему, только иными водородными связями в природной воде между молекулами дейтериевых и протиевых соединений — слабыми в первом случае и сильными во втором — можно объяснить способность изотопа водорода проникать в верхние слои южного водоема, которые хорошо прогреваются на солнце. Все дело, возможно, в диффузии молекул. Хотя не исключено, что «механизм» их проникновения и иной.

И тем не менее разве повышенная концентрация дейтерия повод для утверждения, что столкновение космического нейтрона и земного протия будет проходить именно здесь, в южном водоёме? Нет, конечно. Тем более что этого никто не доказал экспериментально.

Думается, было бы правильнее, говоря об условиях зарождения дейтерия, начать искать объяснение процесса в космосе. И вот почему.

Если взглянуть на нашу планету из космоса, то можно увидеть не только сферичность ее поверхности, но еще и сильную «приплюснутость» ее атмосферы. Над экватором слой атмосферы самый мощный, например, толщина тропосферы там около 20 километров. А над полюсами наоборот — ее толщина не превышает К) километров.

Отсюда напрашивается такой вывод: если известно, что атмосферный экран защищает Землю от некоторой части космической радиации, то космическим частицам, очевидно, легче пройти через слой атмосферы в полярных районах, чем в

экваториальных. Подобное объяснение вполне логично, но есть в нем один нюанс, к которому мы еще вернемся.

Значит, в полярных районах, с точки зрения «проходимости» атмосферы, наиболее благоприятные условия для зарождения дейтерия. Они там благоприятные еще и потому, что на поверхности планеты в высоких широтах очень много протия — вода, снег, ледники.

Не случайно замечено, что плавающий многолетний лед в Арктике богаче дейтерием, чем вода, омывающая его. Однако этот доказанный факт почему-то принимается скорее за исключение, чем за правило.

«Не верь глазам своим»… «Воды высоких широт бедны дейтерием». Эта фраза прижилась едва ли не во всех работах о тяжелой воде. Почему бедны?

Оказывается, еще в 40-е годы проводился анализ проб воды и льда из Большого Медвежьего озера в Канаде и из реки Колумбии в США. И было отмечено, что содержание дейтерия там заметно ниже, чем в южных водоемах. Отсюда и пошло это расхожее до сих пор утверждение.

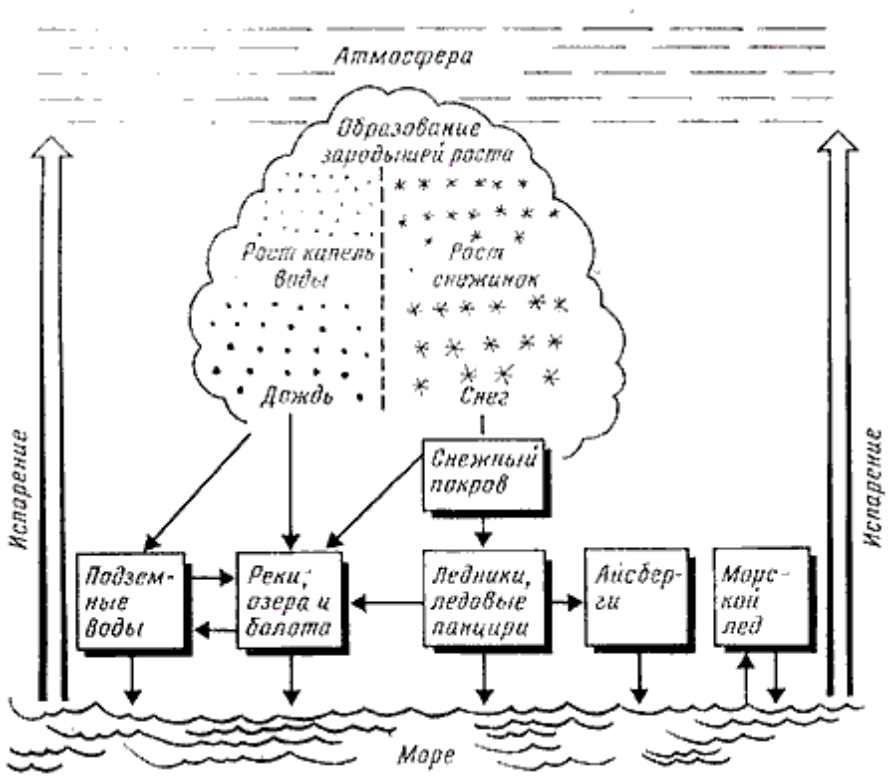


Рис. 5. Круговорот воды

Во время анализа этих северных проб природной воды известный физик И. Киршенбаум и его коллеги, видимо, сомневались в полученном результате, по затем все-таки в него поверили. А нужно было лишь задать себе один-единственный вопрос и найти на него ответ. Они его не задали.

Действительно, в зимнем водоеме соединений дейтерия в воде меньше, чем летом. Во льду еще меньше. Спрашивается, куда же на зиму девается дейтерий?

Вот, собственно, и весь вопрос. Он, как мне показалось, вполне уместен, потому что летом процентное содержание дейтерия в воде вновь возвращается к норме. Об этом же писал сам И. Киршенбаум, разбирая пример реки Колумбии, упоминал о нем и К. Ранкама.

Так куда же девается на зиму дейтерий, вернее, часть его? Как тут не вспомнить о странных белых льдинах, всплывающих осенью со дна рек Севера, когда температура воды положительная и ледостав еще не начался… Однако исследователями 40-х годов был предложен другой ответ. Тоже правильный, по… не относящийся к поставленному вопросу. Его суть в следующем.

Впервые наличие соединений дейтерия в атмосфере Земли обнаружил Адель в 1941 году. Это открытие дало очень многое науке. Во-первых, стало ясно, что процесс образования дейтерия идет на планете постоянно. Во-вторых, появилась возможность подсчитать его запасы в природных водах.

С учетом того, что приборы, регистрирующие содержание дейтерия в воде, не отличались тогда совершенством. Было установлено, что в снеговой воде, равно как и в океанической, речной, озерной, дейтерия примерно одинаково — что-то около 0,015%. Колебания в процентном содержании дейтерия в пробах, конечно, были, но незначительные. Это дало право Швартуту и Долю сделать поразительный вывод: мол, содержание дейтерия существенно не меняется в водах различного происхождения. Не меняется, потому что все они связаны с атмосферными осадками. При чем здесь осадки? Речь же шла об образовании дейтерия в природе?

И именно этот вывод утвердился в науке, хотя нелепость его, по-моему, более чем очевидна. Процесс образования атмосферных осадков, равно как и перенос атмосферной влаги, — очень сложный процесс.

Как, почему, где, какая вода испарилась? Какие ветры, какого содержания воздух? Словом, десятки причин, сотни условий могут изменить изотопный состав атмосферной воды, и не только изотопный. Вспомним уже приводившийся пример с тритием искусственного происхождения. Или печальные примеры с

кислотными дождями, которые теперь уже перестали быть редкостью на огромных территориях планеты. А ведь все это атмосферные осадки конца XX века.

Конечно, осадки влияют на перенос дейтерия по водоемам, по регионам. Но является ли это влияние определяющим? Где здесь причина и где следствие? Тем более что доля атмосферных осадков в питании рек, например, несравнима с подземными источниками.

К тому же по многолетним наблюдениям установлено, что атмосферная влага — это не есть что-то постоянное, наперед заданное. Вовсе нет. В зависимости от времени суток, от сезона года, от природных условий территории, от ветров и еще от многих, причин атмосферная влага постоянно меняет свой состав. Воздушные массы — словно гигантская химическая лаборатория, где непрерывно идут реакции соединений и распада. Атмосфера буквально кипит, «варится в собственном соку», и понять, описать «рецепты» этой великой варки пока еще никому из ученых не удалось. Как же можно было из этой неполной информации устанавливать зависимость между небесной влагой и распространением тяжелых изотопов?

Одно то, что осадки нестабильны, регулярность их относительная — в какое-то время года они чаще, в какое-то реже, — уже это должно было остановить, заставить задуматься. К тому же бывают ведь и продолжительные засухи, когда осадки долгое время просто отсутствуют, а вода в реках и озерах тем не менее все равно имеет то же содержание дейтерия, что и в сезон дождей. Разве это не повод усомниться в выводах? Хотя, конечно, для некоторых, весьма небольших по площади территорий эти выводы справедливы.

В первую очередь сказанное относится к приморским районам, лежащим в сравнительной близости от океана, с его активным испарением влаги. Вне всяких сомнений, атмосферные осадки будут здесь наиболее богаты тяжелыми изотопами. Тем более что не вызывает сомнений как доказанный факт, что первые капли дождя и вообще первые дожди и снега из недавно образовавшегося облака содержат заметно больше дейтерия, чем остальные.

Подтверждающие это факты зафиксированы в Антарктиде, Гренландии, западных районах Америки. И эти факты не вызывают сомнений. К сомнениям ведет другое — какое все это имеет отношение к образованию дейтерия и его глобальному распределению?

Похоже, что никто из исследователей не заметил скрытого противоречия в утверждении, принятом, по существу, априори.

Атмосферные осадки влияют только на распределение дейтерия по водоемам планеты в отдельных регионах, однако они никак не влияют на глобальный процесс образований дейтерия в природе.

Связь между содержанием дейтерия в поверхностных водах и атмосферных осадках, вполне возможно, не более чем исключение из правила, если принять во внимание глобальный процесс образования дейтерия, а также не забывать о своеобразии устройства атмосферного экрана планеты.

Итак, подведем некоторый общий итог сказанному, чтобы продолжить повествование об известном и неизвестном дейтерии.

В природе дейтерия много непознанного. Этот изотоп водорода — очень ценный природный ресурс. Он постоянно образуется на планете из простого водорода, присутствует во всех известных водоемах, поэтому редким называть его все-таки трудно, хотя он и является именно таковым.

Перспективы использования дейтерия в недалеком будущем вряд ли кто осмелится определить сейчас. Это вещество, входящее в состав обыкновенной воды, может открыть новую страницу химии — дейтериевой химии. Может быть, дейтерий позволит химикам получать новые вещества с самыми неожиданными свойствами. Кто знает? Ведь простой водород химики весьма активно применяют в своих технологиях, опытах. Дейтерий же им пока недоступен для «массового потребления» — он очень дорогой.

А биологи… Разве полностью исследованы биохимические процессы в живых организмах, где присутствуют изотопы водорода? Это тоже, по существу, чистая страница науки, на которой написано разве что несколько букв. Очевидно, что если вода — спутник всего живого, то, видимо, присутствие дейтерия в ней тоже играет какую-то роль в развитии живых организмов.

А может быть, именно этому веществу обязана живая материя своим появлением? А что, если есть новые формы жизни? Возможно? Конечно, возможно. Прогнозы, гипотезы, проекты… Пока же биологи, как и химики, очень мало работают с тяжелой водой. Только избранные, только заслуженные. Слишком дорогой это ресурс, слишком редкий, чтобы быть в каждой лаборатории. Будь его больше в распоряжении исследователей, можно было бы, не экономя на миллиграммах, провести масштабные опыты, позволяющие поставить на повестку дня много новых вопросов, например о биотехнологиях в деле разделения изотопов. Да-да, именно биотехнологиях!

Еще в 1952 году стало известно, что некоторые дрожжи выделяют из тритиевой воды тритий и включают его в свои биохимические процессы. Несколько позже были выявлены

водоросли, которые тоже успешно и давно «освоили» технологию изотопного разделения… Как это им удается?

Нет, не потеряли своей актуальности слова, написанные академиком Н. Д. Зелинским еще в 1934 году: «Кто бы мог подумать, что в природе существует еще другая вода, о которой мы до прошлого года ничего не знали, вода, которую в весьма небольшом количестве мы ежедневно вводим в свой организм вместе с питьевой водой. Однако небольшие количества этой новой воды, потребляемые человеком в течение жизни, составляют уже порядок величины, с которым нельзя не считаться».

И далее, развивая свою мысль, ученый продолжал: «В эволюции химических форм в биосфере и литосфере тяжелая вода не может не принимать участия, и вопрос о том, в какой стадии такого эволюционного процесса находится тяжелая вода в нашу эпоху, в стадии накопления ее в природе или в стадии деградации, представляется весьма важным и с точки зрения обмена веществ в живых организмах, в которых вода играет первостепенную роль.

Все живое проводит через свой организм громадные массы обыкновенной воды, а вместе с ней и тяжелую воду; какое же влияние оказывает последняя на жизненные функции организма? Пока это неизвестно, но такое влияние должно быть несомненным».

Изменилось ли что-нибудь в познании природы тяжелой воды за прошедшие полвека? Конечно. Но немного. Новых вопросов появилось куда больше, чем ответов… И все потому же… По-прежнему слишком дефицитен ресурс, очень мало его достается ученым-естественникам.

Наука пока не может ответить на некоторые вопросы. Скажем, такой. Если процесс образования дейтерия протекал на Земле постоянно, то правомерно предположить, что так было и миллион и миллиард лет назад и много раньше. Дейтерий — стабильный изотоп, который, по-видимому, должен накапливаться в природе, по крайней мере его должно становиться все больше. Однако если провести очень приблизительный расчет с максимально возможными «невыгодными» допущениями, то… не сходятся концы с концами.

Приняв планету за идеальный водный шар без защитной атмосферы, на который равномерно поступает космическая радиация, и зная «скорость» образования дейтерия, можно подсчитать, сколько его должно бы было быть на Земле. Затем, зная общие запасы природной воды, можно вычислить по среднепроцентному показателю фактические запасы дейтерия.

Если сравним полученные цифры, то увидим, что они будут отличаться на несколько порядков.

Куда же девается дейтерий?

А что, если он играет какую-то чрезвычайно важную роль в биологических процессах?. Например, являясь, как и в атомной промышленности, своеобразным «замедлителем» быстрых нейтронов в живых организмах. Может быть, дейтерий — средство защиты организмов от естественной радиации? Почему нет?

На планете есть территории, где естественный фон радиации очень высок, однако живая природа там развивается. И развивалась. Впрочем, даже и в Чернобыле не деградировала она. Значит, есть какой-то природный механизм защиты от радиации. А что если изучение дейтерия поможет найти его?

А теперь вернемся к началу нашего очерка, на якутскую землю. В осень. К странным белым льдинам. На застывающую реку… Пройдет время, бурный весенний паводок разметет двух-трехметровый лед на реке, разольется широкое половодье, и все-все льдины понесутся, захваченные течением, в Северный Ледовитый океан. Так бывает каждую весну.

Могучие реки Сибири и Севера щедро питают полярный океан. Один только Енисей каждую секунду поставляет около 20 тысяч кубометров воды. А среди этой воды есть и дейтериевая. Сколько ее? Фантастически много! Каждые сутки река выносит в Арктику 256 тысяч кубических метров тяжелой воды. Кто скажет, что тяжелая вода редкий ресурс?

Всего же за год Арктика получает не менее 3 миллионов кубометров тяжелой воды из различных источников — стоков рек, океанических течений, атмосферных осадков.

Цифра хоть и фантастически гигантская, но вполне реальная, если иметь в виду, что речной сток в СССР — это более 6 тысяч кубических километров воды в год.

Но в этом примечательном факте обращает на себя внимание одна очень интересная деталь. Как показывают немногочисленные пробы арктической воды, дейтерия в ней почти всюду меньше нормы. Ниже среднестатистической. Почему? Не будем торопиться с ответом.

Сперва спросим, что, осадки в высоких широтах бедны дейтерием? Бедны. В науке сложилось мнение о скудности запасов тяжелой воды в полярных водоемах. Успело сложиться. (Вспомним опыты И. Киршенбаума с природной водой из Большого Медвежьего озера Канады и другие).

Противоречие же! И, по-моему, явное. Что же получается — с одной стороны, известно, что в Северный Ледовитый океан

поступают огромные массы тяжелой воды, а с другой стороны, что воды океана бедны дейтерием. Разве не парадокс?

И если первая часть парадокса сомнений не вызывает (реки действительно впадают в океан), то вторая часть заставляет скептически отнестись к качеству проб, к достоверности измерений и вообще к географии поиска. Тем более что, судя по литературе, исследователи ухитрялись долго не замечать никаких отклонений от догмы «полярные воды бедны дейтерием». И точка.

Хотя данные, например, полученные А. С. Редфилдом и И. Фридманом и опубликованные ими в 1964 году, косвенно говорили как раз об обратном. Эти исследователи прошли, образно говоря, от Арктики до берегов Антарктиды, придерживаясь атлантического меридиана, и пронаблюдали изменение содержания в воде дейтерия: просмотрели планету как бы в разрезе, от полюса до полюса. И что же?

Самые значительные концентрации тяжелой воды обнаружились именно в Арктическом бассейне! Но эти наблюдения остались почему-то без должного внимания, они даже не вызвали законную дискуссию. Старая догма продолжала творить свое магическое действие.

Причем в Арктическом бассейне безо всякой системы, только в 6 пунктах эти два исследователя взяли по нескольку проб океанической воды. Северная Шотландия, центр Норвежского моря, Шпицберген, Северный полюс, Центральная Арктика, мыс Барроу. Последней пункт, кстати, дал максимальный процент дейтерия.

Но опять — «не верь глазам своим»…

В одной книге нахожу: «Понижено содержание дейтерия в поверхностном слое океана в тех районах, где на изотопный состав оказывает влияние вода, поступающая от таяния льда». Комментарии, как говорится, излишни. Хотя и в Норвежском море, и у Шпицбергена, и у мыса Барроу пробы брались именно там, где оказывает влияние вода, поступающая от таяния плавающего льда.

Думаю, вполне логично еще раз задать вопрос, который уже звучал на этих страницах, — куда же все-таки девается тяжелая вода в полярных водоемах?

Вопрос вполне логичный еще и потому, что воды почти всех течений из Арктического бассейна имеют пониженное процентное содержание дейтерия. На слове «почти» делаю ударение, потому что, видимо, есть единственное исключение — Восточногренландское течение, которое, к сожалению, пока осталось в стороне от внимания исследователей — охотников за дейтерием.

Но об этом чуть позже.

Так куда же девается тяжелая вода в Северном Ледовитом океане?

Без предположения о том, что часть ее переходит в лед, кристаллизуется, ответ вряд ли возможен. Слишком уж все в природе взаимосвязано: из ничего может быть только ничто, а из того, что чем-то было, всегда будет нечто.

В Арктике, в океане, так же как и в северной реке, есть условия для фазового перехода тяжелой воды, для ее накопления в виде льда. Не простого льда, а особого, дейтериевого.

«Осенние» льдины с рек, попадая весной в Северный Ледовитый океан, за короткое лето частично тают, частично остаются на плаву и потом вмерзают в протиевый морской лед, начинают дрейфовать.

Наверное, все видели хоть раз в жизни фильмы, где фрагментами показана летняя Арктика, там всегда можно заметить одинокие белые льдины, которые плавают в холодных водах. Кто хоть раз побывал в Арктике, тот сам наблюдал эти странные льдины.

Невелики размерами, они долго остаются на виду, пока не унесет их куда-то течение. А почему все льдины растаяли, а эти остались? Очередная загадка природы? Но ее можно разгадать, если опять-таки сделать допущение, основанное на известных различиях в физико-химических свойствах тяжелой и обычной воды: тяжелая вода замерзает при температуре плюс 4 градуса, а таять она будет только при этой же температуре. Первой, замерзает, последней тает!

Протиевая вода тает при нуле градусов, морская вода замерзает и тает при отрицательной температуре, а тяжелая — при положительной. Вроде бы все строго согласуется с термодинамикой.

Не исключено, что одинокие льдины, которые порой все лето волны носят по арктическим морям, и есть те самые странные белые льдины, сложенные из белых кристаллов.

Но ловить случайные одинокие льдины в океане, видимо, не очень привлекательная перспектива для возможной новой отрасли промышленности по разделению изотопов. Это все равно что искать грибы в незнакомом лесу: не знаешь наперед, где повезет. Для промышленности нужна солидная и надежная сырьевая база, иначе о какой перспективе речь.

А что, если такая база есть? А что, если она в Арктике?

Арктика — океан. Арктика — огромное плавающее ледяное поле в океане. Поле, под которым свисают величественные ледяные сталактиты, похожие на обыкновенные сосульки. Это —

внутриводный лед, одна из форм его. Он, по существу, никем до сих пор не исследован. Как образуется? Из чего сложен? Неизвестно. Слишком сложно наблюдение за этим труднодоступным видом льда, который медленно нарастает, между прочим, тоже только при положительной температуре воды. Мощные сталактиты свисают на, десятки и сотни метров, находясь в сравнительно теплых слоях океана…

А теперь настал черед рассказать о дрейфе льдов в Северном Ледовитом океане — удивительно четкая природная система, о которой немногие наслышаны.

Для большинства людей льды — это просто льды, для географа — это именно природная система, которая является следствием целого ряда природных процессов. В природе нет ничего лишнего, простого, случайного. Все взаимосвязано.

Так же и льды. Зарождаясь, они подразделяются между собой строго согласно законам природы. И движение их в океане тоже согласуется с этими законами. В соответствии с характером вращения планеты и рельефом в Арктике наблюдаются как бы две самостоятельные зоны дрейфа, отчасти связанные между собой.

У берегов Канады льды ходят по кругу, путь в две-три тысячи километров. Это — замкнутый цикл общего арктического дрейфа. По часовой стрелке, или, как говорят географы, по спирали Бофорта, льдины за 10 лет совершают свой полный оборот. Затем некоторая их часть через проливы, особенно пролив МакКлура, проходят к берегам Канадского архипелага, покидая Арктику. Другая же, намного большая часть, со спирали Бофорта ежегодно захватывается главным ледяным потоком и через советский сектор Арктики (опять же по часовой стрелке) направляется в район Северного полюса и дальше в створ между Гренландией и Шпицбергеном. Два-три года занимает этот путь.

В Гренландском море идет интенсивное таяние арктических льдов.

Но, как мы уже говорили, каждый вид льда тает строго при «своей» температуре… Однако прежде чем перейти к этой, завершающей стадии дрейфа, поинтересуемся, много ли воды и льда поступает в сравнительно теплое Гренландское море? Иначе говоря, какова количественная характеристика описываемого процесса?

По оценкам некоторых исследователей, годовой приток воды в Северный Ледовитый океан составляет более 80 тысяч кубических километров. Этот приток складывается примерно так: 60 тысяч приходит из Атлантического океана, около 20 из Тихого, а остальное дают реки и осадки.

Восточногренландское же течение (только оно одно!)

ежегодно выносит из Арктики почти все эти поступления: десятки тысяч кубических километров воды и около 10 тысяч кубокилометров льда. Целый ледник, плавающий в океане. Как видим, речь идет о планетарных объемах.

Благодаря Восточногренландскому течению в Гренландском море происходит своеобразное разделение льда, его сортировка. Там, где на карте обозначена граница плавающих льдов, образуется зона, небезынтересная для исследователя.

Природа здесь сама сортирует арктический лед, руководствуясь при этом своими строгими законами. Мы уже говорили о них: сперва тает морской лед, затем — протиевый и лишь потом дейтериевый. Значит, для каждого вида льда будет своя граница, свой плавающий предел, переступить который не позволено законами природы.

По расчетам автора, за год через Гренландское море проходит до 3 миллионов кубических метров тяжелой воды. Весьма солидная «сырьевая база» для промышленности.

Возможны ли ошибки в прогнозе? Конечно. Гипотеза тем и отличается от теории, что она не бесспорна. Однако от фантазии она, гипотеза, тоже отличается, потому что имеет неоспоримые научные факты, подтверждающие мысль автора.

Так вот, как показывают результаты анализа проб, взятых в фьордах Гренландии, процентное содержание дейтерия там самое высокое. Однако, как и почему здесь оказался дейтерий, никто не знает, и объяснить это с помощью известных знаний вряд ли возможно. Еще один неоспоримый факт. Если представить, что в южной части Гренландского моря встречаются два течения — холодное с севера и теплое с юга, то туманы — активное испарение с поверхности — выглядят здесь вполне обычным делом.

Нарождающиеся облака, как известно, богаты тяжелыми изотопами, об этом доказанном факте мы уже упоминали. Но как это проверить? Облака же южной части Гренландского моря в основном движутся на восток, в сторону Европы, и первые дожди, первые осадки, самые богатые тяжелыми изотопами, проливаются над Северной Атлантикой, над морем. Сколько в этих дождях дейтерия — данных нет.

Но иногда молодые облака могут двигаться и в противоположную сторону, в сторону Гренландии, что тоже не исключается из-за непостоянства ветров. Любопытно, в Южной Гренландии на поверхности ледников обнаружены изотопные аномалии (полярная станция «Дай-3» и другие).

Выходит, предлагаемая нами гипотеза не лишена смысла… Гренландское море — крупнейшее на планете месторождение

дейтерия.

Не будем забывать, что категоричность суждений, как учит мировая мудрость, противопоказана в любых жизненных ситуациях, а в науке особенно. Сомнения, сомнения, они должны всегда сопровождать исследователя, особенно при выдвижении новой теории. Итак…

Даже если предположить, что Гренландское море — действительно, крупнейшее на планете месторождение дейтерия, то неизбежен вопрос: а что же дальше? Куда отсюда поступает дейтерий? Ведь в море он не накапливается, залежей не создает.

И здесь напрашивается мысль о возможном круговороте тяжелой воды в природе. Круговорот — форма существования воды, система ее переноса.

Вновь обратимся к географической карте Арктики. Восточно-гренландское течение, пройдя границу плавающих льдов, обогащается дейтерием, но уже около берегов Южной Гренландии его буквально смывает значительно более мощное Североатлантическое течение, пришедшее из тропиков. В океане сталкиваются два фронта — теплый и холодный. Внешне это недолгое противоборство проявляется в туманах, частых штормах. А внутренне — в том, что холодные воды захватываются теплыми и устремляются вдоль берегов Европы опять в Арктику. Так выглядит первая стадия предлагаемого круговорота.

Доказательства? Во-первых, они на карте, в голубых и красных линиях, обозначающих течения в Арктике. А во-вторых, в уже упоминавшихся пробах воды на дейтерий, которые провели в 1964 году А. С. Редфилд и И. Фридман. В водах Норвежского моря эти исследователи отметили очень высокое содержание дейтерия.

Теплое Североатлантическое течение через Норвежское море заходит в Баренцево море, температура некогда теплой воды уже заметно падает (Арктика берет свое), и начинается интенсивное ледообразование. Фазовый переход, после которого круговорот тяжелой воды продолжается, но уже в иной фазе.

Внутриводный лед, как уже отмечалось, появляется при положительной температуре, подводные ледяные сталактиты, свисающие с ледяных полей, нарастают в сравнительно теплых плотных водах Северного Ледовитого океана. А дальше следует дрейф льда, о котором мы уже сказали.

Круговорот в двух фазах? Возможно? Вполне.

В заключение очерка хотелось бы высказать еще две мысли, два наблюдения, которые напрямую связаны с вышеизложенным. Речь идет о возможной взаимосвязи между протиевой и дейтериевой водой.

Первое. На вид отвлеченное. Если обыкновенную речную воду

охлаждать, то при 11° в воде начинается ассоциация протиевых молекул. При понижении температуры процесс этот усиливается, и при температуре около плюс 4° вода получает свою максимальную плотность. Но при дальнейшем медленном охлаждении воды ее плотность начнет уменьшаться. Почему?

Известно немало объяснений этому процессу, он даже описан в учебниках химии, но истина все-таки не найдена. Обратим внимание на следующие важные моменты процессов.

Когда начинается ассоциация протиевых молекул? При 11°. Что это за температура? Тяжелая вода при этой температуре достигает своей максимальной плотности. С этого момента, видимо, количество молекул тяжелой воды в растворе начинает увеличиваться, а плотность протиевой воды при этом интенсивно возрастает.

Какие изменения наступают при 4 °С? Тяжелая вода входит в стадию фазового перехода и постепенно как бы убывает из раствора, ее процентное содержание в жидкой фазе уменьшается. И по мере ее убывания плотность протиевой воды уменьшается. Случайные совпадения? Не исключено. Но точно так же не исключена и взаимосвязь двух основных компонентов природной воды.

И второе наблюдение. Конкретное. Предположим, а что, если природная вода есть «сплав»? Вернее, смесь взаимосвязанных компонентов — протиевой, дейтериевой и других изотопных разновидностей воды?

И стоит только из этого «сплава» убрать одну из примесей, как его свойства изменятся. Скажем, без дейтерия природная вода не будет иметь максимальной плотности при 4°. А если так, то в водоеме при замерзании не будет деления воды на теплые и холодные слои. Диаграмма фазового перехода такой воды будет строиться иначе. Просто говоря, природная вода лишится некоторых своих аномальных свойств.

А вывод из этого допущения следующий: в природе есть неизвестная пока эталонная вода.

Практически встретить такую воду вряд ли возможно, хотя и не исключено. В регионах, куда не поступает из космоса радиация. Там не будет образовываться дейтерий. И если в этих районах почти не бывает атмосферных осадков, содержащих дейтерий, то шансы встретить эталонную воду повышаются.

Допущения на грани дозволенного, но реальные. И вот почему.

Нашу планету в целом можно представить как магнит: силовые линии, опоясывающие планету, сходятся в магнитных полюсах Земли. Магнитное поле наиболее плотное около

полюсов, здесь возможно срабатывание того же «механизма», который используется при удержании плазмы в магнитном поле.

Значит, территория, где атмосферный экран сильнее всего защищает Землю от космической радиации, невелика, но она обязательно есть.

Предположить, что районом поиска эталонной воды будет Канада, возможно, но маловероятно. Полуостров Бутия связан с Мировым океаном, поэтому дейтериевые примеси неизбежны.

Но во внутренних районах Антарктиды вероятность наличия таких идеальных условий для поиска эталонной воды более реальна… Как говорится, дело за малым.

В Антарктиде, во льдах, известно озеро, глубиной в 300 с лишним метров, и на всей глубине его — от поверхности до дна — температура одинакова. Правда, пробы воды па дейтерий там не брались.

Какой же удивительный мир, в котором мы живем, как он бесконечен для познания!

М. Э. Аджиев